

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

**Einfluss des Frakturmechanismus und -typ auf die
Reposition der Böhler-Winkel bei distaler Radiusfraktur
nach operativer Versorgung mittels palmarer
winkelstabiler Plattenosteosynthese**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Christina Krämer
aus Troisdorf

promoviert am 27.03.2025

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Professor Dr. med. G. Stein
2. Gutachter: Professor Dr. med. J. W.-P. Michael

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

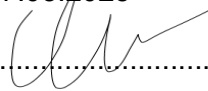
Die in dieser Arbeit angegebenen Messungen sind von mir mit Unterstützung von Herrn Professor Dr. G. Stein selbst ausgeführt worden. Der Datensatz entstammt dem Helios Klinikum Siegburg.

Die statistische Auswertung habe ich nach Anleitung durch Herrn Johannes Herrmann selbstständig vorgenommen.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 27.03.2025

Unterschrift: 

Danksagung

In meiner Promotionsarbeit möchte ich meinen großen Dank an Herrn Professor Dr.med. Gregor Stein aussprechen, dessen fachliche Unterstützung, Anleitung und Ermutigung einen maßgeblichen Beitrag zu meinem akademischen Erfolg geleistet haben.

Außerdem geht mein aufrichtiger Dank an meinen Vater, der stets an das Gelingen dieser Arbeit und an mich geglaubt hat und natürlich an meine gesamte Familie, die mich stets ermutigt haben und mir in jeder Phase meines Promotionsprojekts beigestanden sind.

Besonderer Dank gebührt meinem Ehemann Steven, dessen bedingungslose Unterstützung, Geduld und motivierende Präsenz während dieser intensiven Forschungszeit für mich von unschätzbarem Wert waren und ihn zu meinem wichtigsten Unterstützer machen.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 ZUSAMMENFASSUNG	7
2 EINLEITUNG	9
2.1 Allgemeine Einführung	9
2.2 Anatomische Kurzbeschreibung des Handgelenks	11
2.2.1 Artikulierende Knochen des Handgelenks	11
2.2.2 Der Radius	12
2.2.3 Proximales Handwurzelgelenk	12
2.2.4 Distales Handwurzelgelenk	14
2.2.5 Distales Radioulnargelenk (DRUG)	15
2.2.6 Ligamentäre Strukturen	15
2.2.7 Nervenverlauf im Bereich des Handgelenkes	15
2.3 Biomechanik des Handgelenks	17
2.4 Radiologische Parameter am Handgelenk	17
2.4.1 Böhler-Winkel	17
2.4.2 Radiuslänge	19
2.4.3 Ulnavarianz	19
2.5 Distale Radiusfraktur	20
2.5.1 Definition	20
2.5.2 Allgemeine Epidemiologie	21
2.5.3 Ätiologie und Frakturmechanismus	21
2.5.4 Klassifikationen	22
2.5.5 Begleitverletzungen	27
2.5.6 Diagnostik	28
2.5.7 Therapie	31
2.5.7.1 Konservative Therapie	32
2.5.7.2 Operative Therapie	34
2.5.8 Folgeschäden und Komplikationen	42
2.6 Fragestellung	44
3 MATERIAL UND METHODE	45
3.1 Datenerhebung	45
3.2 Pseudonymisierung	45

3.3	Messverfahren	46
3.4	Statistische Auswertung	47
4	ERGEBNISSE	49
4.1	Patientengut	49
4.2	Messergebnisse	50
4.2.1	Vergleich innerhalb der Frakturmechanismen	50
4.2.2	Vergleich innerhalb der Frakturtypen	58
4.2.3	Zielwerte der gesamten Patientenkohorte	65
5	DISKUSSION	66
5.1	AO-Klassifikation und Böhler-Winkel	66
5.2	Frakturmechanismus	70
5.3	Frakturtyp	72
5.4	Zielwert	74
5.5	Schlussfolgerung	74
6	LITERATURVERZEICHNIS	76
7	ANHANG	81
7.1	Abbildungsverzeichnis	81
7.2	Tabellenverzeichnis	84
7.3	Ergänzende Tabellen	85

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANOVA	Analysis of Variance
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.- p.	anterior- posterior
CRPS	complex regional pain syndrome (komplexes regionales Schmerzsyndrom)
CT	Computertomographie
et al.	et alii bzw. et aliae
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
OP	Operation
p	p- Wert
SL- Band	Lig. Scapholunatum
Tab.	Tabelle
TFCC	Triangulärer Fibrokartilaginärer Komplex

1 Zusammenfassung

Die distale Radiusfraktur stellt die häufigste Fraktur des Menschen dar und zeigt aufgrund der demographischen Entwicklung eine zunehmende Häufigkeit. Die Entstehung dieser Fraktur lässt sich auf zwei Unfallmechanismen zurückführen. Etwa 85-90% der Fälle resultieren aus einem Sturz auf das extendierte Handgelenk, was zu einer Extensionsfraktur mit dorsal disloziertem Radiusfragment führt. Neben dem Unfallmechanismus werden die Frakturen auch durch verschiedene Frakturtypen unterschieden, die mittels der AO-Klassifikation radiologisch in nicht-artikuläre, teilweise artikuläre und vollständig artikuläre Frakturen eingeteilt werden. Derzeit ist die offene Reposition und Fixierung mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese die chirurgische Standardmethode für die distale Radiusfraktur und anderen therapeutischen Vorgehen überlegen. Die Böhler-Winkel (radioulnare und palmare Inklination) repräsentieren eine spezifische Neigung der Gelenkfläche des distalen Radius und spielen bei der radiologischen Beurteilung des postoperativen Ergebnisses eine entscheidende Rolle. Aufgrund ihrer bedeutenden Rolle bei der unmittelbaren Kraftübertragung zwischen dem distalen Radius und den Handwurzelknochen sowie der Beeinflussung der Handgelenksbeweglichkeit, sollten sie nach der Operation wieder das physiologische Maß erreichen.

Die vorliegende Studie befasst sich insbesondere mit dem radiologischen Ergebnis nach Versorgung mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese. Dabei wurde die Wiederherstellung der Böhler-Winkel untersucht und deren Abhängigkeit vom Frakturmechanismus und -typ betrachtet. Ziel war es zu belegen, dass die Wiederherstellung der Böhler-Winkel von Frakturtyp und Frakturmechanismus abhängig ist.

Die retrospektive Studie basiert auf 208 distalen Radiusfrakturen, welche im Zeitraum von September 2017 bis September 2019 in der Unfallchirurgischen Abteilung im Helios-Klinikum Siegburg mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurden. Die Frakturen wurden mittels konventioneller Röntgenaufnahmen nach der AO-Klassifikation klassifiziert und in den Frakturmechanismus eingeteilt. Der Böhler-Winkel 1 wurde im anterior-posterioren Strahlengang und der Böhler-Winkel 2 im lateralen Strahlengang bestimmt. Bei allen Frakturen lagen jeweils Röntgenaufnahmen direkt posttraumatisch, nach Aushängen im Mädchenfänger sowie nach Operation vor. Lag der Böhler-Winkel 1 postoperativ in dem Zielbereich von 20-25° und der Böhler-Winkel 2 in dem Zielbereich von 10-15°, wurde eine adäquate Reposition angenommen.

Die Daten lagen pseudonymisiert vor und wurden von nur einer Person ausgewertet, um mögliche Verzerrungen durch eine unzureichende Inter-Observer-Zuverlässigkeit zu verhindern. Allerdings trugen verschiedene Einflussfaktoren, wie unterschiedliche Qualität und Ausrichtung der Röntgenaufnahmen sowie Schwierigkeiten bei der Frakturklassifizierung, zu einer erhöhten Intra-Observer-Variabilität bei.

Die statistische Analyse erfolgte mittels Microsoft Excel und IBM SPSS Statistics. Dabei wurde ein festgelegtes Signifikanzniveau von 0,05 verwendet. Die Analyse, ob die Werte im definierten Zielbereich lagen, erfolgte mittels Kreuztabellen und Fishers-exaktem-Test. Die Frakturmechanismen wurden durch Mann-Whitney-Tests verglichen.

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 65,7 Jahre, wobei 19 % männlich und 81 % weiblich waren. Unter den untersuchten Frakturen waren 88,5 % Extensionsfrakturen. Die Frakturen setzen sich aus 35,1% nicht-artikulären Typ „A“- , 1,9% Typ „B“- und 63% intraartikuläre Typ „C“-Frakturen zusammen.

Die vorliegende Studie unterstützt die Hypothese, dass das Repositionsergebnis von der Art der Frakturmechanismen abhängt. Besonders deutlich wurde, dass Flexionsfrakturen tendenziell bessere radiologische Ergebnisse zeigten und geringfügigere Korrekturen erforderten. Bei 92% der Flexionsfrakturen waren beide Winkel postoperativ im Zielbereich, im Gegensatz zu nur 55% der Extensionsfrakturen ($p=0,000$). Der Böhler-Winkel 2 wurde bei 95,8% der Flexionsfrakturen wiederhergestellt, im Vergleich zu nur 66,8% der Extensionsfrakturen ($p=0,002$). Eine Korrelation bezüglich des Böhler-Winkel 1 konnte nicht signifikant gesichert werden. Die klinische Relevanz der schlechteren postoperativen Böhler-Winkel-Resultate bei Extensionsfrakturen bleibt jedoch diskutabel, da Studien darauf hindeuten, dass die langfristigen klinischen Ergebnisse trotz variierender radiologischer Parameter vergleichbar sind.

Im Gegensatz dazu konnte keine klare Abhängigkeit des Repositionsergebnisses vom Frakturtyp festgestellt und signifikant abgesichert werden. Es wird lediglich angedeutet, dass insgesamt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Frakturtypen existieren. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen Frakturmechanismus, Frakturtyp und Repositionsergebnis wird die Notwendigkeit weiterer Studien betont. Diese sollten insbesondere die Zusammenhänge zwischen Frakturtyp und dem Repositionsergebnis genauer beleuchten und möglicherweise differenzierte chirurgische Ansätze für die Behandlung distaler Radiusfrakturen entwickeln.

2 Einleitung

2.1 Allgemeine Einführung

Von den zahlreichen Knochen des Menschen ist die distale Radiusfraktur mit einem Anteil von etwa 25% die häufigste Fraktur. Die Häufigkeitsgipfel liegen dabei im Altersbereich zwischen dem 9. und 18. Lebensjahr sowie ab dem 50. Lebensjahr, wobei die Inzidenz der distalen Radiusfraktur im Alter steigt und 80% der Frakturen den zweiten Altersgipfel betreffen.¹⁻³ Während das männliche Geschlecht beim ersten Altersgipfel überwiegt, wird der zweite Gipfel aufgrund des postmenopausal verminderten Knochenstoffwechsel mit einer deutlicheren Mehrheit durch das weibliche Geschlecht dominiert.^{4,5}

Die distale Radiusfraktur kann durch unterschiedliche Unfallmechanismen eintreten, wie beispielsweise im Rahmen einer Abstützbewegung bei gestrecktem (Extensionsfraktur) oder seltener bei gebeugtem (Flexionsfraktur) Handgelenk.³

Neben dem Unfallmechanismus unterscheidet man außerdem zwischen verschiedenen Frakturtypen, welche durch die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese) in nicht-artikuläre, teilweise artikuläre und vollständig artikuläre Frakturen eingeteilt werden.⁶ Diese Einteilung erlaubt einen direkten Rückschluss auf das therapeutische Vorgehen.⁷

Der demographische Wandel und die immer besser werdende medizinische Versorgung führen dazu, dass der Anteil der älteren Bevölkerung steigt und diese Art der Handgelenksfraktur immer häufiger auftritt.^{1,2,8}

Liegt eine distale Radiusfraktur vor, können eine verminderte Funktionalität sowie auch mögliche Verzögerungen im Heilungsprozess erhebliche Einschränkungen im Alltag mit sich bringen. Daher ist es von großer Bedeutung, nach der entstandenen Verletzung bestimmte Kriterien anzuwenden, mit deren Hilfe es möglich ist, die betroffene Extremität so nahe wie möglich wieder an die funktionellen Fähigkeiten und die anatomische Struktur von vor der Verletzung heranzubringen.⁹ Um dies zu erreichen, werden im Rahmen einer operativen Versorgung unter Berücksichtigung des jeweiligen Frakturtyps und des Frakturmechanismus verschiedene Techniken sowie Materialien verwendet, die eine erfolgreiche Therapie gewährleisten sollen.^{9,10}

Derzeit ist die offene Reposition und Fixierung mittels palmarer Plattenosteosynthese die chirurgische Standardmethode für die distale Radiusfraktur und dabei konservativen Methoden überlegen.¹¹⁻¹³

Ein wichtiges diagnostisches Mittel ist in diesem Zuge die Ermittlung der Böhler-Winkel, welche eine bestimmte Gelenkflächenneigung in den Röntgenaufnahmen beschreiben und nach Operation wieder ein physiologisches Maß annehmen sollten, da sie eine entscheidende Rolle bei der direkten Kraftübertragung zwischen dem distalen Radius und den Handwurzelknochen und der Beweglichkeit des Handgelenkes spielen.^{9,14}

2.2 Anatomische Kurzbeschreibung des Handgelenks

2.2.1 Artikulierende Knochen des Handgelenks

Das Handgelenk besteht aus dem distalen Radius (Speiche), der distalen Ulna (Elle) sowie den proximalen und distalen Karpalreihen (Handknochen) und dient als Bindeglied zwischen dem Unterarm und der Hand.¹⁵ Dabei wird die proximale Handwurzelreihe aus dem Os scaphoideum (Kahnbein), dem Os lunatum (Mondbein) und dem Os triquetrum (Dreiecksbein) mit dem Os pisiforme (Erbsenbein) und die distale Reihe aus dem Os trapezium (großes Vieleck), dem Os trapezoideum (kleines Vieleck), dem Os capitatum (Kopfbein) sowie aus dem Os hamatum (Hakenbein) gebildet.¹⁶

Das Handgelenk wird morphologisch aus verschiedenen Gelenken zusammengesetzt, welche jedoch eine funktionelle Einheit bilden (Abb.1):

- Das proximale Handwurzelgelenk (Articulatio radiocarpalis)
- Das distale Handwurzelgelenk (Articulatio mediocarpalis)
- Das distale Radioulnargelenk¹⁶⁻¹⁹

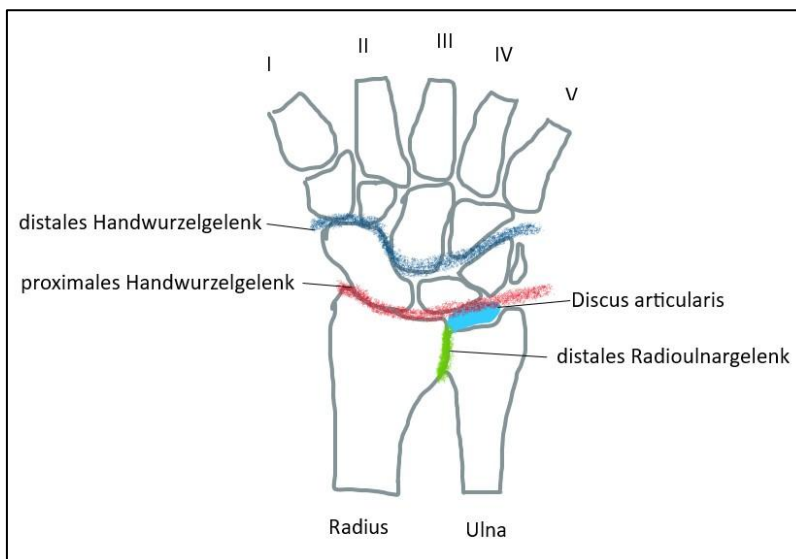


Abbildung 1 – Proximales und distales Handgelenk sowie distales Radioulnargelenk.

Quelle: Eigene Darstellung

So komplex diese anatomische Konstellation auch ist, so ermöglicht sie sowohl einen hohen Bewegungsgrad als auch eine Beweglichkeit in 3 Dimensionen:

- Palmarflexion (60-80°, hauptsächlich im Radiokarpalgelenk) und Dorsalextension (40-60°, hauptsächlich im Mediokarpalgelenk)
- Radialabduktion (bis 20°) und Ulnarabduktion (30-40°)
- Supination und Pronation (jeweils bis 90°, hauptsächlich durch das Radioulnargelenk)^{9,18-20}

2.2.2 **Der Radius**

Der Radius bildet zusammen mit der Ulna den Unterarm. Dabei liegt er lateral der Ulna und ist genau wie diese sowie der Humerus ein Röhrenknochen, welcher aus einem Schaft und zwei Epiphysen zusammengesetzt wird.^{18,20}

An seinem proximalen Ende besitzt er einen kleinen, flachen Kopf (Caput radii), der mit seiner überknorpelten Gelenkfläche zum einen mit dem Humerus und zum anderen mit der Ulna gelenkig verbunden ist (Humeroradialgelenk und proximales Radioulnargelenk).¹⁷

Das distale Ende enthält an der Außenseite einen kleinen Griffelfortsatz (Processus styloideus) und ist im Gegensatz zum schmalen proximalen Bereich breiter und kräftiger entwickelt und besitzt medial die Incisura ulnaris und distal die Facies articularis carpalis, um mit Ulna und dem Carpus zu artikulieren.^{17,18} Der distale Radius ist maßgebend für die Kraftübertragung im Handgelenk und trägt daher eine entscheidende Rolle.⁹

2.2.3 **Proximales Handwurzelgelenk**

Das proximale Handgelenk wird einerseits von Radius (Facies articularis carpalis) und Ulna (Discus articularis) und andererseits von der proximalen Handwurzelreihe gebildet. Die Facies articularis des Radius, welche aus der konkaven Fossa scaphoidea und Fossa lunata besteht, und der Discus articularis der Ulna bilden dabei die Gelenkpfanne (Abb.2). Die dreieckige Fossa scaphoidea formt mit ihrer Spitze den Processus styloideus radii.^{9,17,18}

Der Gelenkkopf wird von der proximalen Handwurzelreihe gebildet und vervollständigt das typische Ellipsoidgelenk (Eigelenk).⁹

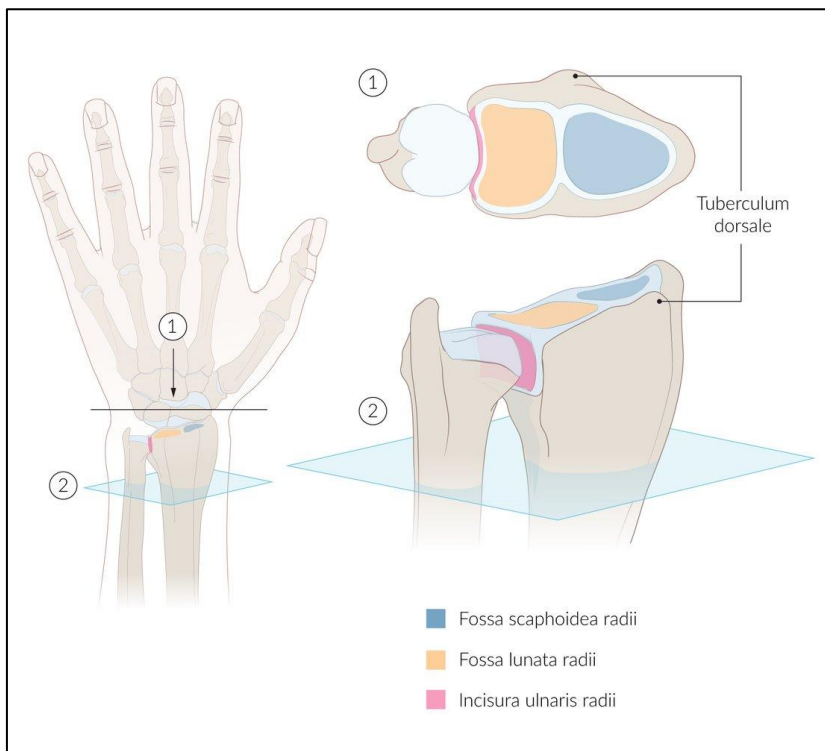


Abbildung 2 – Gelenkflächen des distalen Radius. Anatomische Darstellung von distal (1) und dorso-ulnar (2). Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.²¹

Außerdem wird die radiokarpale Gelenkfläche nach ulnar durch den dreieckigen ulnokarpalen Komplex (triangulärer fibrokartilaginärer Komplex, TFCC) ergänzt, welcher die distale Ulna, das distale Radioulnargelenk und die proximale Karpalreihe verbindet und aus den folgenden Bändern und Disken zusammengesetzt wird:

- Discus ulnocarpalis (Synonym: TFC; Faserknorpel)
- Meniscus ulnocarpalis
- Ligg. radioulnare dorsale und palmare
- Ligg. ulnolunatum und ulnotriquetrum
- Lig. collaterale carpi ulnare
- Ligg. Radiotriquetrum (Anteil des Lig. Radiocarpale dorsale)²⁰

Der Discus ulnocarpalis verbindet Ulna und Radius, indem er an der distalen ulnarseitigen Gelenkfläche des Radius inseriert und zum Processus styloideus ulnae und zur Basis der distalen Ulna zieht. Er verhindert den direkten Kontakt von Ulna zur proximalen Handwurzelreihe, da er zwischen Ulna und Os triquetrum und Os lunatum liegt und somit auch als Gelenkscheibe dient.^{9,20}

Der Meniscus ulnocarpalis dagegen füllt den stark erweiterten ulnaren Gelenkspalt des proximalen Handgelenks und vergrößert die kraftaufnehmende Fläche v.a. bei der Ulnarabduktion. Er besteht aus kollagenen Fasern, welche von dem distalen, ulnaren Ende des Discus ulnocarpalis entspringen und zur palmaren Os triquetrum ziehen.^{9,20}

Eine Verstärkung der schlaffen und dorsal relativ dünnen Kapsel des proximalen Handwurzelgelenks erfolgt durch zahlreiche Bänder.¹⁸

Das proximale Handgelenk ist ausgesprochen beweglich und ermöglicht Bewegungen in 2 Freiheitsgraden (Ulnar- / Radialabduktion, Flexion/ Extension).^{9,19} Die pfannenartige Gelenkfläche steht nicht immer mit allen Handwurzelknochen der proximalen Handwurzelreihe in Kontakt. Das Os Triquetrum findet erst bei Ulnarabduktion dichten Kontakt zum Discus articularis, während es bei der Radialabduktion den Kontakt verliert.¹⁸

In Neutralstellung erfolgt die Übertragung der Kraft auf den Unterarm zu 80% im Radiokarpalgelenk auf den Radius und zu 20% auf den fibrokarilaginären Komplex im Ulnokarpalgelenk.¹⁹

Einerseits bilden proximales und distales Handgelenk eine funktionelle Einheit, andererseits besteht auch eine enge Verbindung zum distalen Radioungelenk (DRUG).^{9,18}

2.2.4 Distales Handwurzelgelenk

Das distale Handwurzelgelenk liegt zwischen der proximalen und distalen Handwurzelreihe, welche jeweils für sich einen Gelenkkörper bilden und ineinander verzahnt sind. Im Gegensatz zum proximalen Handwurzelgelenk liegt hier ein „S“-förmiger Gelenkspalt vor.^{17,18}

Die Knochen der proximalen Handwurzelreihe sind untereinander in gewissem Maße beweglich, wohingegen diese Beweglichkeit bei der distalen Reihe nicht gegeben ist, da diese durch straffe Bänder untereinander und mit den Metakarpalknochen verbunden sind. Somit werden die distalen Handwurzelknochen und die Metakarpalknochen als eine funktionelle Einheit bezeichnet.¹⁸

Die Gelenkkapsel des distalen Handwurzelgelenks ist dorsal schlaff, palmar jedoch straff¹⁸.

2.2.5 **Distales Radioulnargelenk (DRUG)**

Der distale Radius besitzt, wie oben genannt, neben der Facies articularis carpalis noch die Incisura ulnaris radii, welche zusammen mit dem Caput ulnae das distale Radioulnargelenk bildet. Die Incisura ulnaris radii artikuliert dabei mit der Circumferentia articularis des Caput ulnae. Der Discus ulnocarpalis verbindet, wie oben erwähnt, Radius und Ulna und dient als Gelenkscheibe zwischen Ulna und der proximalen Handwurzelreihe. Die schlaaffe Gelenkkapsel erweitert sich bis zum Schaft der Ulna (Recessus sacciformis distalis) und erlaubt somit den notwendigen Bewegungsspielraum für Drehbewegungen dieses Radgelenks, bei denen die Incisura ulnaris radii sich um die feststehende Circumferentia articularis des Ulnakopfes bewegt. Das distale und proximale Radioulnargelenk sind zwangsweise kombinierte Gelenke, welche funktionell durch die Membrana interossea miteinander verbunden sind und eine Rotation der Hand (Pro- und Supination) jeweils bis etwa 90° ermöglichen.^{9,18,20}

2.2.6 **Ligamentäre Strukturen**

Die Bänder des Handgelenks sind zum Teil Führungsbänder für die Bewegungen im Gelenk, begrenzen zudem Bewegungsschläge und vor allem gewährleisten sie zusammen mit der Gelenkkapsel die Stabilität des Handgelenks. Die palmaren Bänder sind dabei stärker ausgebildet.¹⁸⁻²⁰

Anhand der Lage und Anordnung der Bänder, kann man 4 Gruppen unterscheiden:

1. Ligamente zwischen Unterarm und Karpalknochen (Ligg. Radiocarpalia u. ulnocarpalia, Ligg. collateralia)
2. Ligamente zwischen den Karpalknochen (Ligg. intercarpalia interossea)
3. Ligamente zwischen Handwurzel- und Mittelhandknochen (Ligg. carpometacarpalia)
4. Ligamente zwischen den Mittelhandknochen (Ligg. metacarpalia)¹⁸⁻²⁰

2.2.7 **Nervenverlauf im Bereich des Handgelenkes**

Im Bereich des Handgelenkes sind zwei relevante Nervenverläufe des Unterarms zu erwähnen. Es handelt sich zum einen um den Nervus medianus, welcher zwischen den oberflächlichen und tiefen Fingerbeugern zum Handgelenk zieht und dann im Karpalkanal zur Hohlhand zieht und sich dort in seine Endäste aufzweigt. Zum anderen ist der Ramus superficialis des Nervus radialis zu berücksichtigen, welcher im unteren Drittel des Unterarmes zwischen Radius und Musculus brachioradialis auf der

Streckseite liegt. Er endet als sensibler Hautast auf dem radialen Handrücken und den dorsalen, radialen zweieinhalb Fingern.²⁰

2.3 Biomechanik des Handgelenks

Das Drei-Säulen-Modell (Abb.3) nach Rikli und Reggazoni resultiert aus biomechanischen Betrachtungen des Unterarmes und dient zum besseren Verständnis des Frakturausmaßes.²² Anhand dieses Modells wird der distale Unterarm in 3 Säulen (radiale Säule, intermediäre Säule, ulnare Säule) aufgeteilt.^{22,23}

Die radiale Säule besteht aus dem Processus styloideus radii und der Fossa scaphoidea und ist für die Stabilität des Handgelenks verantwortlich, da sie unter anderem zur Insertion der stabilisierenden radiokarpalen Bänder dient. Hier kann es zum Beispiel zu Abrissfrakturen kommen, bei denen der Processus styloideus radii sowie radiokarpale Bänder verletzt werden können. Die intermediäre Säule wird durch die Fossa lunata und die Incisura ulnaris radii gebildet und spielt bei der Kraftübertragung von der Hand auf den Unterarm eine entscheidende Rolle. Somit stellen Impressionsfrakturen, bei denen eine intraartikuläre Beteiligung vorliegt, eine häufige Ursache für eine Verletzung der intermediären Säule dar. Zuletzt bilden die distale Ulna und der ulnokarpale Komplex die ulnare Säule, welche in geringem Maße auch zur Kraftübertragung und Stabilität des Handgelenks beiträgt, aber vor allem den ulnaren Pfeiler darstellt.²³

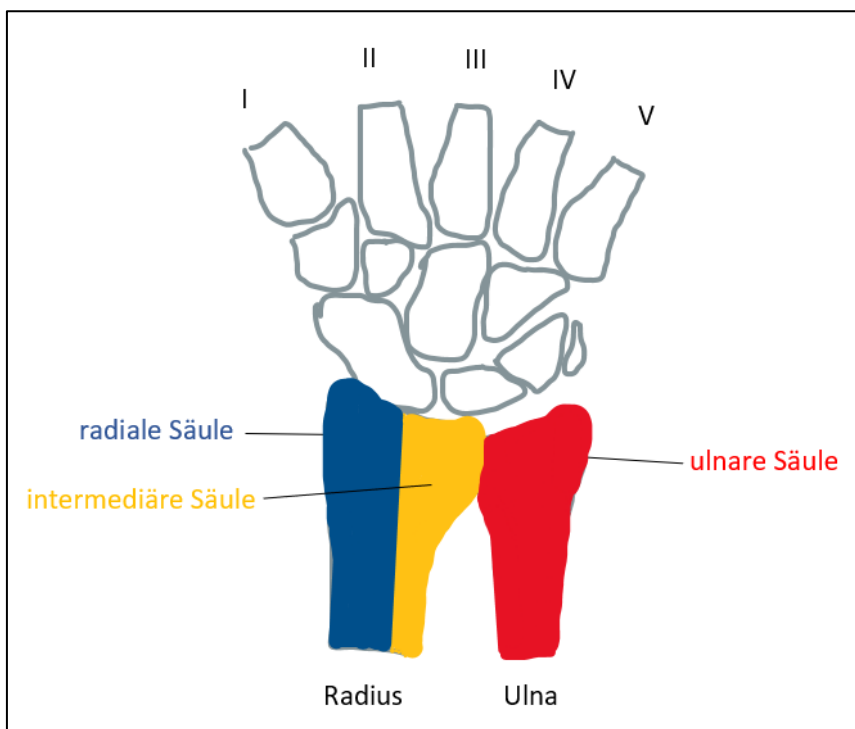


Abbildung 3 - Drei-Säulen-Modell nach Rikli et al. (2003). Quelle: Eigene Darstellung

2.4 Radiologische Parameter am Handgelenk

2.4.1 Böhler-Winkel

Wie oben beschrieben lässt der komplexe Aufbau des Handgelenks, bei dem der distale Radius eine erhebliche Rolle spielt, umfangreiche Bewegungen zu. Um diese nach

distaler Radiusfraktur weiterhin uneingeschränkt zu ermöglichen, ist es entscheidend, eine korrekte Stellung des Radius postoperativ zu erreichen. Die Böhler-Winkel sind dabei wichtige radiologische Parameter zur Beurteilung der Gelenkflächenneigung des distalen Radius und dienen somit auch der Evaluierung des operativen Ergebnisses der distalen Radiusfraktur, da sie nach Operation wieder physiologische Werte annehmen sollten. Sie werden anhand von Röntgenaufnahmen des Handgelenks in zwei Ebenen bestimmt.^{9,14}

Nicht zu verwechseln sind die Böhler-Winkel des distalen Radius mit dem Tubergelenkwinkel, welcher auch als Böhler-Winkel bezeichnet wird, auf den hier aber nicht näher eingegangen wird.

Böhler-Winkel 1 (radioulnare Inklinatation)

Der Böhler-Winkel 1 beschreibt die radioulnare Inklinatation, welche sich anhand einer anterior-posterioren Röntgenaufnahme bestimmen lässt (Abb.4) und physiologisch ca. 20-25° (13-30°) beträgt. Er beschreibt die Neigung der Radiusgelenkfläche nach ulnar und ist der knöcherne tragende Anteil des Handgelenksbogens.^{9,20}

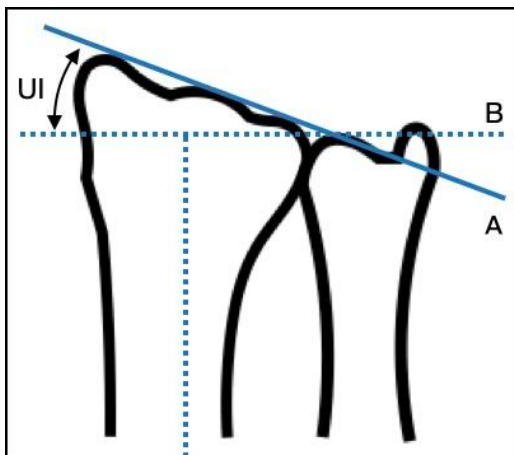


Abbildung 4 - Bestimmung der Böhler-Winkel 1 (radioulnare Inklinatation) im a.p. Strahlengang. Der Böhler-Winkel 1 (UI) wird durch Parallele zur Gelenkfläche (A) und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (B) gebildet. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013)⁹

Böhler-Winkel 2 (palmare Inklinatation)

Im seitlichen Strahlengang zeigt sich eine Neigung der Gelenkfläche des Radius nach palmar. Diese beträgt im Durchschnitt etwa 10-15° (0-28°) und definiert die palmare Inklinatation des Radius. Dementsprechend wird der Böhler-Winkel 2 in der lateralen Projektion bestimmt (Abb.5). Die korrekte Kraftübertragung zwischen distalen Radius und dem Handwurzelknochen hängt stark von dieser Inklinatation ab.^{9,20}

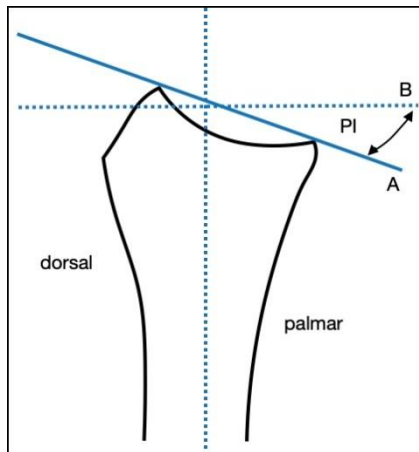


Abbildung 5 - Bestimmung Böhler-Winkel 2 (palmare Inklination) im lateralen Strahlengang. Der Böhler-Winkel 2 (PI) wird durch die Parallele zur Gelenkfläche (A) und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (B) gebildet. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013)⁹

2.4.2 Radiuslänge

Hierbei wird das Längenverhältnis von Radius zu Ulna bestimmt, indem der Abstand zwischen zwei Senkrechten zur Radiuslängsachse gemessen wird (anterior-posterior-Projektion). Die eine Senkrechte ist an der Spitze des Processus styloideus radii angelehnt und ihre Parallele liegt der Gelenkfläche der distalen Ulna auf (Abb.6). Der normale Abstand beträgt 9-12 mm.^{9,19}

2.4.3 Ulnavarianz

Der Ulnavorschub gilt als Indikator für die Radiusachsverkürzung (Ulnavarianz).²⁴ Dabei wird der Abstand zwischen der Parallelen zur Fossa lunata und der Parallelen zur distalen Gelenkfläche des Ulnakopfes verwendet, um die Ulnavarianz zu berechnen (Abb.6).⁹ Die distale Gelenkfläche des Ulnakopfes und der ulnare Rand des Radius zeigen sich bei ca. 60% auf der gleichen Höhe. Eine Varianz zwischen ± 4 mm kann vorkommen, ohne dass dies als pathologisch angesehen wird.⁹ Damit die Ulnavarianz korrekt gemessen werden kann, ist es erforderlich, dass der Unterarm in der Röntgenaufnahme richtig gelagert ist (exakte Neutralnullstellung). Dies liegt darin begründet, dass bei Supination eine Ulnaverkürzung und in Pronation eine Ulnaverlängerung im Verhältnis zum Radius eintritt.²⁴

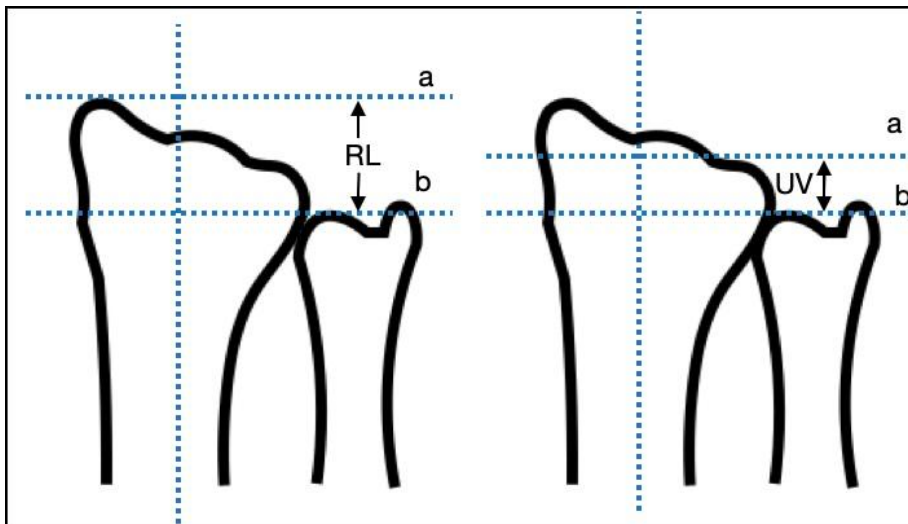


Abbildung 6 - Bestimmung der Radiuslänge (links) und der Ulnavarianz (rechts) im a.p. Strahlengang. Radiale Länge (RL)= Abstand zwischen der Senkrechten durch die Spitze des Processus styloideus radii (a) und der Senkrechten in Höhe der distalen Gelenkfläche der Ulna (b). Ulnavarianz (UV)= Abstand zwischen der Parallelen zur Fossa lunata (a) und der Parallelen zur distalen Gelenkfläche des Ulnakopfes (b) Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013)⁹

Neben den Böhler-Winkel spielen auch die Ulnavarianz sowie die Radiuslänge eine entscheidende Rolle bei der Therapieplanung und postoperativen Kontrolle.⁹ Dies liegt unter anderem daran, dass posttraumatische Verkürzungen des Radius eine relative Verlängerung der Ulna bedingen und somit zu schmerzhaften Zusammenstößen der Ulna mit dem Karpus führen können.²⁵ Damit eine uneingeschränkte Unterarmrotation im distalen Radioulnargelenk und die Ulnarabduktion sowie generell freie Bewegungen im Handgelenk gewährleistet sind, muss deswegen eine korrekte Länge und Stellung der distalen Ulna und des distalen Radius vorliegen.⁹

2.5 Distale Radiusfraktur

2.5.1 *Definition*

Die Frakturen der Röhrenknochen unterteilt man anhand der Anatomie in proximale, Schaft- und distale Frakturen mit oder ohne Gelenkbeteiligung.²⁰ Dabei werden distale Radiusfrakturen als Frakturen bis 3 cm proximal des radiokarpalen Gelenk definiert.²⁶

Bei einer distalen Radiusfraktur kommt es zur Unterbrechung der Kraftübertragung sowie zur Beeinträchtigung der Blutversorgung des distalen Radius. Wenn zudem noch eine intraartikuläre Beteiligung besteht, ist zusätzlich die Beweglichkeit der betroffenen Gelenkteile gestört. Zum Erreichen der ursprünglichen Funktion des Gelenks ist daher

eine Wiederherstellung der vorbestehenden und physiologischen anatomischen Verhältnisse erforderlich.¹⁹

2.5.2 **Allgemeine Epidemiologie**

Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur in den Industrieländern mit einer Inzidenz von ca. 0,3% (30 auf 10.000 Personenjahre) und macht etwa 10-25% aller diagnostizierten orthopädischen Frakturen aus.^{4,15,27,28} Bei etwa 75% aller Unterarmfrakturen handelt es sich um eine distale Radiusfraktur.¹⁹ In Deutschland werden jährlich ca. 200.000 distale Radiusfrakturen therapiert.²³

Wie auch bei anderen häufigen Frakturen, verhält sich die Häufigkeitsverteilung bei der distalen Radiusfraktur bimodal.²⁸ Während der erste Gipfel von jungen, meist sportlich aktiven Männern bestimmt wird, wird der zweite Gipfel vor allem durch postmenopausale Frauen dominiert, bei denen sogenannte Mikrotraumen zu einer Radiusfraktur führen. Dementsprechend zeigt sich bei den über 60-Jährigen ein Verhältnis von Frau zu Mann von 6,2 zu 1. Bei 85% der distalen Radiusfrakturen besteht bereits ein verminderter Kalksalzgehalt und bei über mehr als 50% liegt eine manifeste Osteoporose vor. Dies erklärt auch den hohen Anteil der Frakturen bei den über 60 Jährigen.^{4,5,19,23}

2.5.3 **Ätiologie und Frakturmechanismus**

Ursächlich für die distale Radiusfraktur ist meist ein Sturz auf oder ein Schlag gegen die Hand. Die unterschiedlichen Frakturformen hängen dabei von der Stellung während des Traumas ab.¹⁹ Der Sturz erfolgt dabei auf das extendierte oder flektierte Handgelenk. Dabei kommt es in der Regel zum Bruch der Metaphyse proximal der Strecksehnenfächer.²⁷

Um das Körpergewicht aufzufangen, wird das Handgelenk während des Sturzereignisses besonders häufig reflektorisch dorsal extendiert. Der beschriebene Verletzungsmechanismus führt zu einer Fraktur vom Extensionstyp, welche auch Colles-Fraktur genannt wird und ca. 90% der distalen Radiusfrakturen ausmacht. Bei dieser Fraktur entsteht ein distales Fragment, das nach dorsal disloziert ist. Ein Sturz auf das Handgelenk ist zwar die häufigste Ursache, aber keine Voraussetzung für eine Colles-Fraktur, da diese auch durch einen direkten Schlag von palmar entstehen kann. Die auftretende Fehlstellung bei der Colles-Fraktur (Dislokation des distalen Fragmentes zur Streckseite) nennt man aufgrund des Erscheinungsbildes im lateralen Strahlengang auch Fourchette-Stellung (Gabel-Stellung).^{3,7,19}

Im Gegensatz zur Extensionsfraktur, kommt die meist instabile Flexionsfraktur, welche als sogenannte Smith-Fraktur bezeichnet wird, seltener vor. Hierbei zieht ein Sturz auf die flektierte Hand eine Dislokation des distalen Fragments nach palmar und radial nach sich. Außerdem kann auch hier, neben einem Hyperflexionstrauma, ein direkter Schlag von dorsal eine Ursache der Smith- Fraktur sein.^{3,19}

Zudem unterscheidet man zwischen einer traumatischen Fraktur, welche durch direkte oder indirekte Gewalteinwirkung entsteht, und einer nichttraumatischen Fraktur. Ursächlich für die traumatische Fraktur ist dabei eine mechanische Überlastung, welche oft begleitende Weichteilverletzungen mit sich zieht. Die nicht traumatischen Frakturen sind wesentlich seltener als die traumatischen Frakturen. Man nennt sie auch Spontan- oder pathologische Frakturen. Hier findet sich die Ursache im Knochen selbst. Es zeigen sich schon vorbestehende krankhafte Prozesse im Knochen, welche dazu führen, dass es auch ohne jede Gewalteinwirkung oder durch Mikrotraumen (immer wieder moderate Krafteinwirkungen) zur Fraktur kommen kann. Die häufigsten Ursachen sind Tumoren, Metastasen, Osteomyelitis oder Osteoporose.^{19,20}

Wie oben beschrieben gibt es bei der distalen Radiusfraktur zwei Altersgipfel, bei denen jeweils ein Geschlecht dominiert. Bei jüngeren Patienten (<40 Jahre) liegt als Ursache oft ein Hochgeschwindigkeitstrauma (z.B. Stürze, Verkehrsunfälle) vor, was zur Folge hat, dass über die Hälfte der Frakturen disloziert sind. Bei älteren Patienten handelt es sich meist um ein Niedrigenergietrauma wie zum Beispiel ein Fall aus dem Stand, wobei dies oft im häuslichen Umfeld passiert.^{19,26} Weitere häufige Ursachen sind ein Sturz bei Herzrhythmusstörungen oder zerebraler Ischämie.^{19,26}

Das Ausmaß der Fraktur wird von Lebensalter, Geschlecht (Osteoporose) und Gewalteinwirkung bestimmt.²⁴ Die Anzahl von komplexen Frakturen nimmt aufgrund der längeren Lebenserwartung durch die immer besser werdende medizinische Gesamtversorgung zu.²⁶

2.5.4 Klassifikationen

Von den, laut Mulders, Rikli, Goslings und Schep, bisher etwa 20 verschiedenen vorgeschlagenen Klassifikationssystemen für die distale Radiusfraktur, haben sich im klinischen Alltag vor allem die von Melone, die von Frykman sowie die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO-Klassifikation) bewährt.^{29,30} Von diesen wird jedoch aufgrund ihrer Relevanz für diese Arbeit, nur die letztere, sowie aufgrund ihrer weiten Verbreitung, die historische Klassifikation, thematisiert.

2.5.4.2 Spezielle Frakturbezeichnungen

Wie im Kapitel 2.3.3 beschrieben kann man die distalen Radiusfrakturen in Extensions- (Colles) (Abb.7) und Flexionsfrakturen (Smith) (Abb.8) einteilen. Zur Extensionsfraktur wird auch die Barton-Fraktur (Abb.9) gezählt.³¹⁻³³ Diese ist eine monofragmentäre intraartikuläre Fraktur, bei der der dorsale Rand des distalen Radius betroffen ist und oft auch eine radiokarpale Luxation vorliegt. Bei einer umgekehrten Barton-Fraktur liegt hingegen eine Fraktur des palmaren Randes des Radius vor, weswegen diese als eine Unterform der Smith-Fraktur zu verstehen ist. Eine weitere spezielle Frakturbezeichnung ist die Chauffeur-Fraktur, bei der es sich um eine monofragmentäre, intraartikuläre sowie sagittale Fraktur mit Abbruch des Processus styloideus radii handelt und welche in der Regel durch ein axiales Kompressionstrauma entsteht.^{19,23}

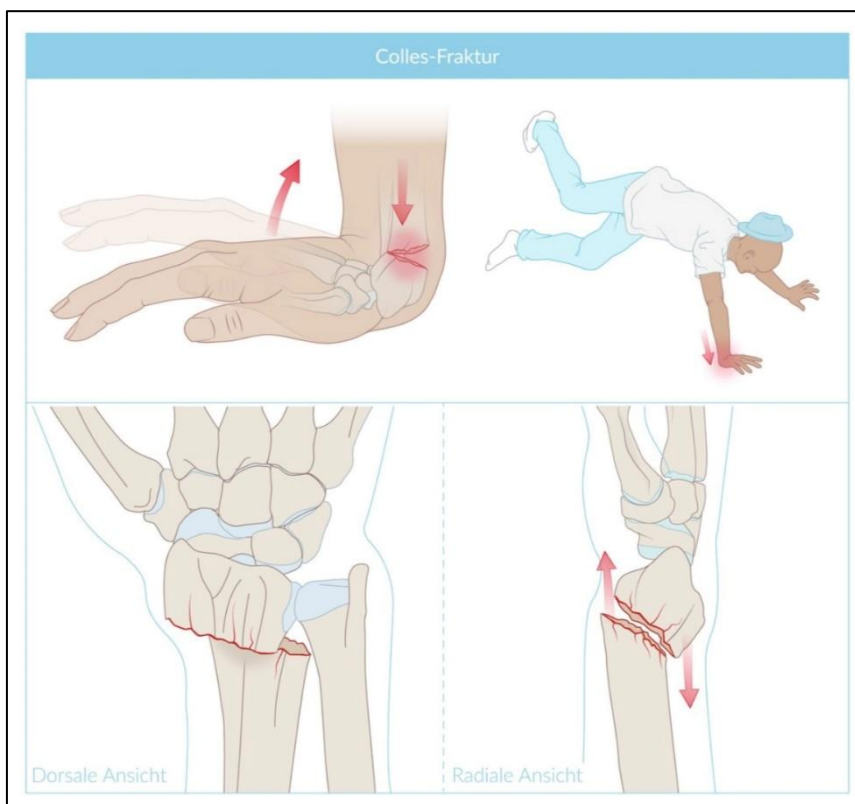


Abbildung 7 - Extensionsfraktur (Colles).Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.³¹

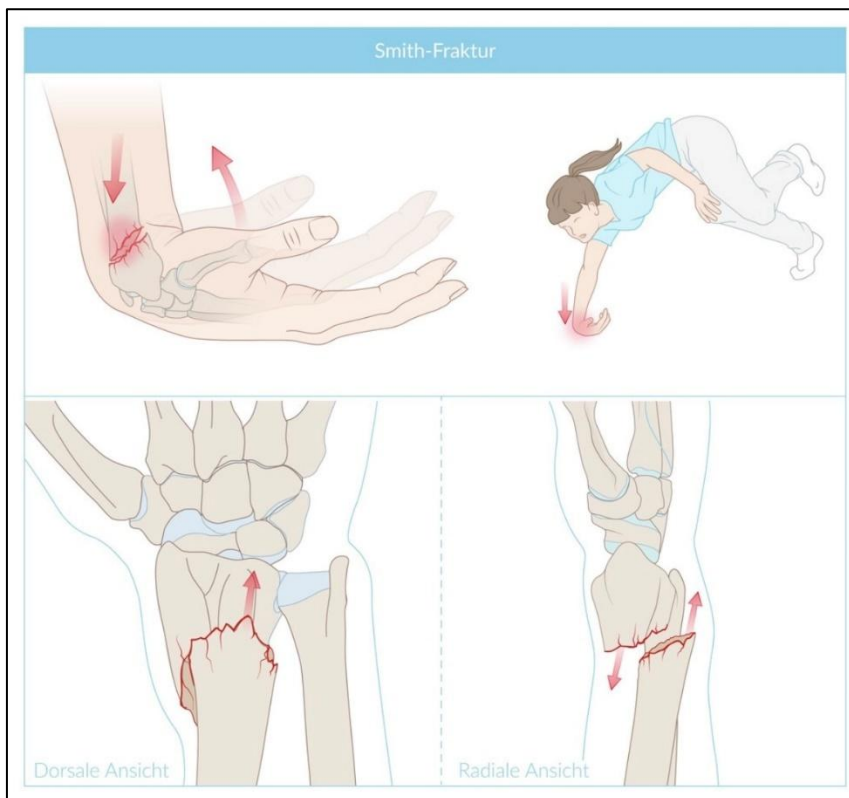


Abbildung 8 – Flexionsfraktur (Smith). Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.³²

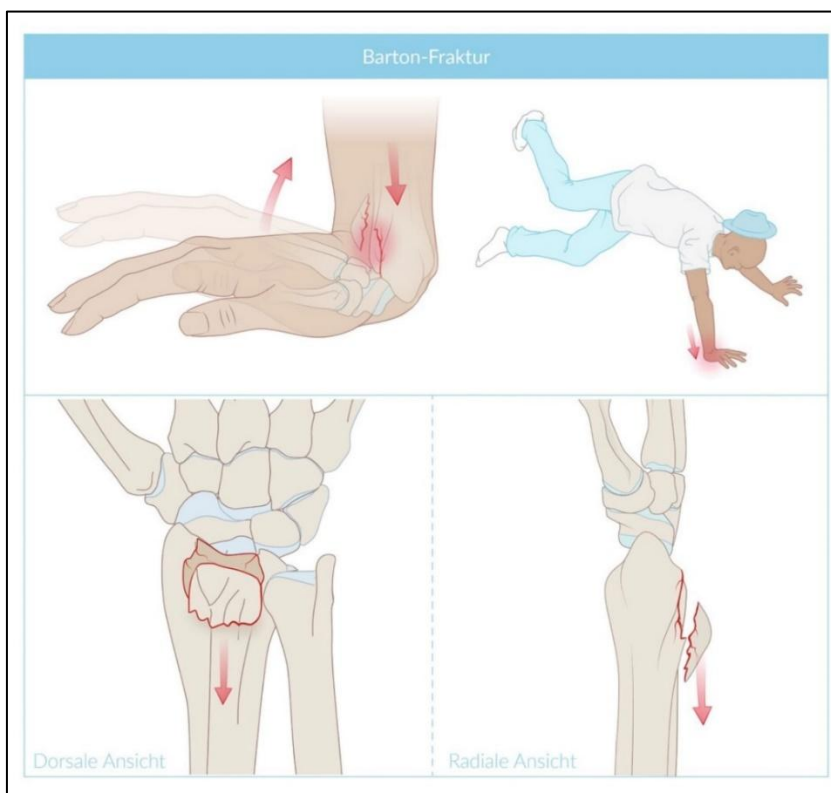


Abbildung 9 - Barton-Fraktur. Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.³³

2.5.4.3 AO-Klassifikation

Die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen hat sich bezüglich der Bruchform (A-C) und Bruchlokalisation bewährt. Neben der nachgewiesenen guten Interbeobachterreliabilität und Reproduzierbarkeit, entspricht sie dem therapeutischen Leitfaden und ist bei den Ärzten ein bevorzugtes Klassifikationssystem. Jedoch hat sie den Nachteil, dass keine Aussagen über den Dislokationsgrad getroffen werden.^{7,23,29,30,34} Anhand von Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen erfolgt die Zuordnung einer Fraktur in verschiedene Frakturtypen und Gruppen.³⁵

Hier wird das gleiche Einteilungsprinzip für alle Frakturen verwendet (Abb.10). Die erste Ziffer kommt dadurch zustande, dass jeder Knochen durch eine bestimmte Ziffer (2 für Radius/ Ulna) gekennzeichnet ist. Dadurch, dass die „2“ für den Unterarm im Allgemeinen steht, wird bei der distalen Radiusfraktur nach der ersten Ziffer noch ein „R“ ergänzt. Danach werden die Röhrenknochen in Segmente (proximaler Gelenkblock=1, Diaphyse=2, distaler Gelenkblock=3) unterteilt, sodass der distale Radius durch die Ziffer „2R3“ beschrieben wird (distale Ulnafraktur=2U3). Somit wird die Lokalisation durch die ersten beiden Ziffern beschrieben. Nachfolgend geben die Buchstaben „A“, „B“ und „C“ die Frakturtypen wieder, welche die Gelenkbeteiligung der Fraktur beschreiben. Für die epi- und metaphysären Frakturen ist der „Typ A“ als extraartikulär definiert, der „Typ B“ als partiell artikulär und „Typ C“ als vollständig artikulär. Die Frakturtypen können zusätzlich nochmal in Gruppen und Untergruppen eingeteilt werden, welche nach der Angabe des Frakturtyps, durch zwei weitere Ziffern definiert werden und nach Schweregrad ansteigen. Dabei ist im klinischen Alltag eine Einteilung bis zur Gruppe (eine Ziffer nach dem Buchstaben) oft ausreichend, weswegen die Untergruppen folgend nicht näher erläutert werden.^{19,36}

Extraartikuläre Frakturen („Typ A“) liegen in der Regel ca. 3-4 cm proximal des radiokarpalen Gelenkspalts und zeigen keine Beteiligung des Radiokarpal- oder des distalen Radioulnargelenkes. Bei höhergradiger Dislokation, kann es jedoch auch bei diesem Frakturtyp zu einer Zerreißung des radioulnaren Bandapparates kommen. Bei intraartikulären Frakturen ist somit der radiokarpale und/oder der radioulnare Gelenkspalt betroffen.²⁴

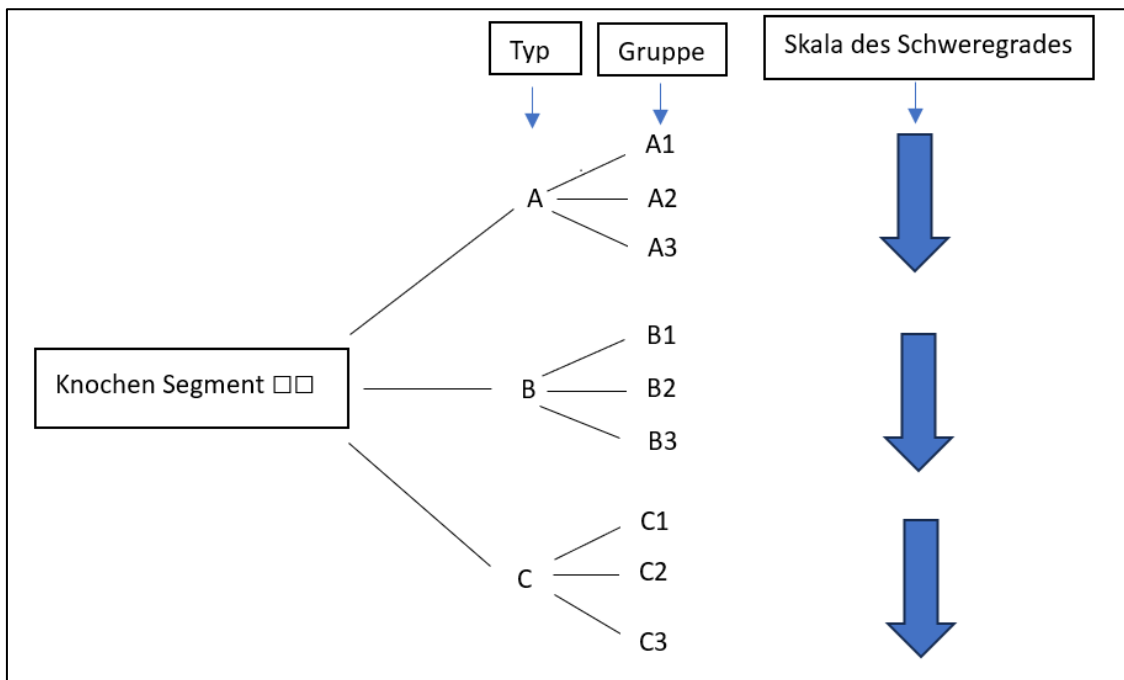


Abbildung 10 – Einteilungsschema nach der AO-Klassifikation. Quelle: Eigene Darstellung

AO-Klassifikation der distalen Radiusfraktur (2R3) (Abb.11)³⁷:

A → Extraartikuläre Frakturen

- A1: Abrissfraktur des Processus styloideus radii
- A2: einfache distale Radiusfraktur (Colles/Smith-Fraktur)
- A3: Keil- oder multifragmentäre distale Radiusfraktur

B → Partiell artikuläre Frakturen

- B1: sagittale Radiusfraktur (Chauffeur-Fraktur)
- B2: dorsales Kantenfragment (Barton-Fraktur)
- B3: palmares Kantenfragment (Reversed Barton-Fraktur)

C → komplett intraartikuläre Frakturen

- C1: einfach artikulär, sowie einfach metaphysär
- C2: einfach artikulär, sowie metaphysär mehrfragmentär
- C3: artikulär und metaphysär mehrfragmentär^{30,36}

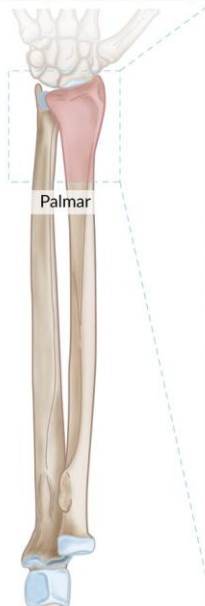
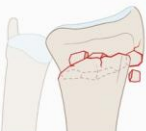
Knochen (1-9)		Position (1-4)		Komplexität (1-3)				
Radius (2Rxxx)		Distal (2R3xx)		2R3x1	2R3x2	2R3x3		
				Frakturtyp (A-C)				
				2R3 Ax	Extra-artikuläre Fraktur			
						2R3A1: Fraktur des Proc. styloideus	2R3A2: Metaphysär einfach	2R3A3: Metaphysär mehrfach
				2R3 Bx	Partiell-artikuläre Fraktur			
						2R3B1: Sagittale Fraktur	2R3B2: Dorsales Kantenfragment	2R3B3: Palmares Kantenfragment
				2R3 Cx	Artikuläre Fraktur			
						2R3C1: Artikulär und metaphysär einfach	2R3C2: Artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär	2R3C3: Artikulär und metaphysär mehrfragmentär

Abbildung 11 - AO-Klassifikation der distalen Radiusfrakturen (Regio 2R3). Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.³⁷

Die Einteilung der Frakturen in das AO-Klassifikationsschema erlaubt direkte Konsequenzen für das therapeutische Vorgehen. Im Gegensatz zu den „A1“- und „A2“-Frakturen, welche in der Regel konservativ behandelt werden, ist bei „A3“-Frakturen eine operative Therapie indiziert. Bei den „C“-Frakturen kann, je nach Weichteilstatus, auch erst eine primäre Stabilisation mittels Fixateur externe indiziert sein, welche im Verlauf durch eine winkelstabile Plattenosteosynthese ausgetauscht wird.³⁵

2.5.5 Begleitverletzungen

Die komplexe anatomische Konstellation des Handgelenks hat zur Folge, dass bei Verletzungen des distalen Radius die zahlreichen benachbarten anatomischen Strukturen mitverletzt werden können und daher immer mitbeurteilt und therapiert werden müssen.⁹

Wie in der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) zur distalen Radiusfraktur aufgelistet, sind folgende Begleitverletzungen möglich:

- Begleitverletzungen der Ulna
- Karpale Verletzungen:
 - Frakturen und Luxationen der Handwurzel und des Handgelenks, insbesondere Scaphoid-Frakturen

- Luxationen und Bandverletzungen des distalen radio-ulnaren Gelenkes
- Verletzungen des Ulnaren Band-Komplex: Discus triangularis inklusive Band und Sehnenapparat
- Radiokarpale Verletzung
- Frakturen und Luxationen der Handwurzel und des Handgelenks, insbesondere Scaphoid-Frakturen
- Ruptur des Scapholunären Bandes (SL-Bandrupturen)
- Processus styloideus ulnae Frakturen
- Strecksehnenverletzungen
- Nervenverletzungen insbesondere des N. medianus (vor allem bei Flexionsfrakturen)
- Radiusköpfchenfrakturen^{23,26}

2.5.6 Diagnostik

2.5.6.1 Anamnese

Wenn möglich erfolgt immer zuerst eine Anamnese des Unfallzeitpunktes, Unfallmechanismus (Flexion/Extension), der Unfallursache (Niedrigenergietrauma vs. Hochgeschwindigkeitstrauma) sowie wichtiger Zusatzinformationen. Lag zum Beispiel ein Sturz vor, ist herauszufinden welche Stellung das Handgelenk nach dem Trauma hatte. Bei der Ursachenabklärung ist von erheblicher Bedeutung, ob der Sturz beispielsweise durch Stolpern oder durch eine Synkope verursacht wurde. Außerdem sind Informationen zu Vorerkrankungen (z.B. Osteoporose, Tumor, Metastasen, Vorhofflimmern etc.), Vormedikation (speziell gerinnungshemmende Medikamente), Allergien (insbesondere Nickel und Antibiotika), Vorverletzungen sowie Voroperationen (Gerinnungshemmer) für die weitere Diagnostik und Therapie entscheidend.^{23,26,35}

2.5.6.2 Klinische Untersuchung/Symptomatik:

Bei der klinischen Untersuchung erfolgen zunächst die Inspektion und Palpation des betroffenen Bereiches. Hierbei sollte das Handgelenk nach Fehlstellungen inspiziert werden. Typisch ist zum Beispiel die Bajonett- oder die Fourchette-Fehlstellung. Eine Dislokation des distalen Radiusfragment speichenwärts und handrückenwärts verursacht dabei die Bajonett-Fehlstellung sowie nach dorsal die Fourchette-Fehlstellung.^{23,26,35}

Weitere Symptome der distalen Radiusfraktur sind Schwellung, Druckschmerz, Hämatombildung, sowie tast- und gelegentlich hörbare Krepitationen („Knarren“ durch

Knochenreibung). Bei der Palpation kann ein Druckschmerz über dem distalen Radius, dem distalen Radioulnargelenk, dem Karpus sowie der Ulna auf Verletzungen der genannten Strukturen hinweisen. Weiterhin sollte unbedingt die periphere Durchblutung, Motorik sowie Sensibilität (pDMS-Kontrolle) geprüft werden. Dabei ist eine schmerzhafte und abnorme Beweglichkeit im Handgelenk, ein weiteres Frakturzeichen.^{19,23,26,27}

Neben den typischen Frakturzeichen ist es bei der klinischen Untersuchung außerdem von großer Bedeutung insbesondere auf die oben genannten möglichen Begleitverletzungen sowie Komplikationen zu achten. Eine karpale Instabilität kann zum Beispiel ein Hinweis auf die Ruptur der skapholunären Bänder oder des lunotriquetralen Bandapparats sein. Ein weiteres wichtiges Augenmerk sollte auf der Untersuchung des distalen Radioulnargelenks sowie der distalen Ulna liegen. Eine hier vorliegende Instabilität (zum Beispiel durch eine dislozierte Fraktur des Processus styloideus ulnae) kann hinweisend auf eine Verletzung des ulnokarpalen Komplexes sein. Hier zu nennen und nicht zu übersehen ist auch die Galeazzi-Verletzung, welche als Subluxation oder Luxation des Ulnakopfes mit gleichzeitiger Zerreißung der Membrana interossea, definiert ist. Neben der Untersuchung der Muskelfunktionen zum Ausschluss von eher seltener vorkommenden Sehnenrupturen (insbesondere die Sehne des M. extensor pollicis longus), ist vor allem bei vorliegendem Weichteilschaden der Ausschluss eines Kompartmentsyndroms essentiell.^{23,26,35} Sensibilitätsstörungen, welche am häufigsten den Nervus medianus betreffen, stellen die Indikation für eine schnelle Reposition dar.¹⁹

2.5.6.3 Apparative Diagnostik:

Besteht nach klinischer Untersuchung der Verdacht auf eine distale Radiusfraktur oder kann diese nicht sicher ausgeschlossen werden, ist eine frühzeitige bildgebende Diagnostik indiziert. Dabei stellt die konventionelle Röntgenaufnahme des Handgelenks in zwei Ebenen (anterior-posterior und lateral) standardmäßig die Basisdiagnostik dar. Eine korrekte, standardisierte Projektion des distalen Unterarmes wird in beiden Ebenen erreicht, indem der Unterarm in Neutralnullstellung vorliegt. Bei der anterior-posterior Aufnahme wird dies durch eine 90°-Abduktion in der Schulter und eine 90° Flexion im Ellenbogengelenk bei komplett aufliegendem Handgelenk und Unterarm erzielt. Bei der lateralen Aufnahme dagegen, wird der Arm adduziert und um 90° im Ellenbogengelenk gebeugt. Eine korrekte Lagerung ist wichtig, um Fehldiagnosen zu vermeiden. Besonders relevant ist dabei insbesondere die korrekte Abbildung des Radioulnargelenkes.^{23,24,27}

Beim Auswerten der Röntgenaufnahme muss auf verschiedene Kriterien geachtet werden. Erstens wird untersucht, ob eine Fehlstellung/Dislokation vorliegt und in welche Richtung das Fragment bzw. die Fragmente abkippen. Zweitens wird zwischen extra-

und intraartikulärer Fraktur (Radiokarpal- und Radioulnargelenk betreffend) unterschieden und das Ausmaß der Fraktur nach Trümmerzonen untersucht. Oft findet an der Stelle direkt eine Einteilung in die AO-Klassifikation statt.¹⁹ Außerdem müssen, neben der genauen Betrachtung der distalen Ulna (zum Beispiel Abriss des Processus styloideus ulnae), radiokarpale Subluxationen sowie ligamentäre bzw. knöcherne karpale Begleitverletzungen (insbesondere eine Skaphoidfraktur) ausgeschlossen werden. Die distale Ulna kann dabei in den Standardprojektionen beurteilt werden, bei Verdacht auf eine Skaphoidfraktur muss jedoch gegebenenfalls eine Skaphoidzielaufnahme erfolgen.^{19,27}

Weiterhin spielen bei der Beurteilung der Frakturen die oben genannten radiologischen Parameter am Handgelenk (Böhler-Winkel, Radiusverkürzung, Ulnavarianz) eine wichtige Rolle bezüglich der Einteilung in stabile bzw. instabile Frakturen, bei der Therapieplanung sowie bei den postoperativen Kontrollen.^{9,27}

Ein weiteres wichtiges Kriterium, welches zu beachten ist, ist die Qualität des Knochens.^{19,27}

Falls im betroffenen Bereich bereits Osteosynthesematerial vorhanden ist, muss der Gelenkspalt orthograd (10°-Schrägaufnahme vom Handgelenk) dargestellt werden, um eine Überlagerung der Gelenkfläche durch Schrauben- oder Plattenanteile zu verhindern.³⁵

Die meisten distalen Radiusfrakturen können mittels Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen ausreichend beurteilt werden. Ist dies nicht ausreichend, wird als nächstes diagnostisches Mittel eine Computertomographie (CT) durchgeführt, da dieses eine überlagerungsfreie Darstellung sowohl der Gelenkabschnitte als auch der umliegenden Knochen und Weichteile ermöglicht.²⁴ Es ist insbesondere dann indiziert, wenn eine artikuläre Beteiligung, Impressionen oder Trümmerzonen vorliegen und dient als Hilfe zur Therapieplanung dieser komplexen Frakturen. Außerdem können nativradiologisch nicht erkennbare Frakturen und kleine intraartikuläre Fragmente mittels CT diagnostiziert werden.^{19,23,24,27}

Weitere diagnostische Verfahren, welche jedoch nicht zur Standarddiagnostik bei der distalen Radiusfraktur gehören, sind die Kernspintomographie (MRT) sowie die Arthroskopie. Beide Verfahren spielen vor allem zur diagnostischen Detektion von Bandverletzungen eine wichtige Rolle. Besonders wenn der Verdacht besteht, dass der trianguläre fibrokarilaginäre Komplex verletzt ist, ist ein MRT indiziert. Der Nachweis eines Ergusses im Radiokarpalgelenk bzw. im distalen Radioulnargelenk, sowie eine veränderte, inhomogene Signalintensität des Discus interarticularis, bis hin zur Ablösung des Diskus, können hierbei erkenntlich werden.^{19,23}

Wenn auch seltener eingesetzt, ist auch die Sonographie zu nennen, welche vor allem im Kindesalter hilfreich sein kann. Mittels Hochfrequenzschallköpfen lassen sich Stufen an der Kortikalis (Frakturzeichen) gut erfassen.²⁴

2.5.7 Therapie

Therapieziel der distalen Radiusfraktur ist stets die Frakturheilung mit anschließender schmerzloser freier Beweglichkeit im Handgelenk, uneingeschränkter Supination und Pronation, kraftvollem Faustschluss und freier Streckbarkeit der Finger.²³ Dies wird durch eine möglichst exakte Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse, also der Länge, der Achse sowie der Neigung des distalen Radius, erreicht und gilt als Grundregel aller distalen Radiusfrakturen.^{9,25}

Für eine adäquate Therapie der distalen Radiusfraktur liegen verschiedene Behandlungsoptionen vor. Diese reichen von der geschlossenen Reposition mit und ohne Osteosynthese bis hin zur offenen Reposition und internen Fixation mittels verschiedenster Osteosyntheseverfahren.^{15,23} Wie in der Leitlinie der DGU zur distalen Radiusfraktur beschrieben, wird auf einen Therapiealgorithmus verzichtet, da bislang keine evidenzbasierte Therapieempfehlung vorliegt.²⁶

Die distale Radiusfraktur muss als vielfältige Verletzung betrachtet werden, bei welcher verschiedene Faktoren bei der Therapieentscheidung zu berücksichtigen sind, um nach Abheilung vor allem die anatomische Wiederherstellung des Handgelenkes zu gewährleisten.²³ Kann dies durch ein konservatives Verfahren nicht erreicht werden, wird, sofern keine Kontraindikationen vorliegen, ein operatives Verfahren gewählt.²⁵

Der Grad und die Richtung der Dislokation, der Frakturverlauf (intra- /extraartikulär), das Vorhandensein von weiteren Instabilitätskriterien, das Ausmaß von Begleitverletzungen, die Knochenqualität, sowie das Alter des Patienten und dessen Wünsche bestimmen hierbei das therapeutische Vorgehen.^{20,23,26,35}

Bei extraartikulären Frakturen wird das Therapieverfahren durch das Ausmaß der Fehlstellung, dem Allgemeinzustand und die Erwartung an die Handgelenksfunktion bestimmt.³ Bei intraartikulären Frakturen ist es wichtig eine möglichst exakte anatomische Reposition anzustreben, da Gelenkinkongruenzen durch unphysiologische Belastung zu Knorpeldegeneration und posttraumatischer Arthrose führen können.¹⁹ Dislozierte Frakturen sollten grundsätzlich reponiert werden.²⁴

Wie zuvor beschrieben ist zudem vor der Entscheidung des therapeutischen Vorgehens eine Beurteilung der Stabilität der Frakturen sowie des Ausmaßes der Weichteilverletzung von entscheidender Bedeutung.²⁷ Stabile Frakturen sind bei Kindern

zum Beispiel metaphysäre Biegungs- und Grünholzfrakturen. Bei Erwachsenen gelten beispielsweise metaphysäre Frakturen ohne zusätzliche Bandverletzungen, Frakturen mit Radiusverkürzung von weniger als drei Millimeter sowie Frakturen mit einer dorsalen Abkipfung des distalen Radiusfragmentes von weniger als 20° als stabil.²⁷

Dagegen werden folgende Faktoren als Instabilitätszeichen gewertet:

- Fraktur des Processus styloideus ulnae (=ulnare Desinsertion)
- Radioulnare (Sub-)Luxation, Bruch im distalen Radioulnargelenk (=radioulnare Separation)
- metaphysäre oder große dorsale Trümmerzone
- Abscher- bzw. Luxationsfraktur
- Flexionsfrakturen/ palmare Fragmente
- Nicht reponierbare Frakturen
- Verkürzung des Radius >5mm
- Gelenkstufe >2mm
- Änderung der radialen Inklination >5°
- Änderung der palmaren Inklination >10°
- Dorsale Abkipfung des distalen Radiusfragmentes >20° (im lateralen Strahlengang)^{23,24,27}

Neben den speziellen Frakturkriterien sind das biologische Alter, der Allgemeinzustand, der Funktionsanspruch des Patienten sowie dessen Bedürfnisse an das therapeutische Vorgehen stets zu berücksichtigende Einflussfaktoren bei der Therapieauswahl.²⁶

2.5.7.1 Konservative Therapie

Eine konservative Therapie ist vor allem dann indiziert, wenn stabile Frakturverhältnisse, keine Dislokation sowie keine bzw. eine nur geringe Gelenkbeteiligung (Radiokarpalgelenkstufe <1mm) vorliegen oder eine Operation kontraindiziert ist.^{23,24,30}

Das bedeutet, dass insbesondere stabile extraartikuläre Frakturen (Typ „A2“ Frakturen) sowie nicht oder gering dislozierte intraartikuläre Frakturen konservativ behandelt werden.^{19,23} Beispiele hierfür sind reponierbare extraartikuläre metaphysäre Biegungsbrüche (mit maximal einem Instabilitätskriterium), reponierbare Abscherfrakturen der Gelenkfläche mit minimaler Dislokation sowie epiphysäre Stauchungsfrakturen ohne stärkere Verkürzung. Bei geriatrischen Patienten wird teilweise auch bei stabil impaktierten Fehlstellungen eine Bewegungseinschränkung zugunsten einer schnellen Mobilisation durch eine konservative Therapie in Kauf

genommen.²⁷ Bei Kindern wird bei einer Dislokation bis zu 20° bis zum zehnten Lebensjahr sowie bei Vorliegen eines guten Spontankorrekturpotenzial eine konservative Verfahren angestrebt.^{27,30}

Das allgemeine Prinzip der konservativen Behandlung ist bei nicht-dislozierten Radiusfrakturen die Ruhigstellung mittels Gipsfixation und bei dislozierten Frakturen die geschlossene Reposition am Unfalltag mit anschließender Retention bis zum Abschluss der Knochenheilung. Dieses Prinzip hat den Nachteil, dass keine frühfunktionelle Beübung im betroffenen Gelenk möglich ist, dafür jedoch operationsabhängige Komplikationen umgangen werden können. Insbesondere wenn das OP-Risiko nicht vertretbar ist oder eine Kontraindikation für eine Osteosynthese besteht.^{23,27}

2.5.7.1.1 Reposition der Fraktur

Unter suffizienter Anästhesie (zum Beispiel Plexusanästhesie, Narkose oder Bruchspaltanästhesie) werden die Frakturfragmente durch Aushang des Unterarmes und Extension der Fraktur mittels Fingerextensionshülsen („Mädchenfänger“) über ca. fünf bis zehn Minuten reponiert.^{25,27} Die sogenannten „Mädchenfänger“ fassen dabei den Daumen, Zeige-, Mittel- und/oder Ringfinger und „hängen“ den Arm in einer 90° Beugung im Ellenbogengelenk und einer 90° Abduktion im Schultergelenk auf.²⁵ Dabei wird ein ca. 3-5kg schweres Gegengewicht (Extensionsgewicht) durch eine am Oberarm geführte gepolsterte Schlaufe angehängt.²⁵

Bei Extensionsfrakturen erfolgt nach dem Längszug die endgültige Reposition durch eine Palmarflexion, Ulnarduktion und abschließender Pronation mit Druck auf das distale Fragment von dorsoradial und Gegendruck von palmar.²⁷

Der Vorgang der geschlossenen Reposition bei einer Flexionsfraktur wird entgegengesetzt vorgenommen, sodass hier nach dem Längszug, eine Dorsalextension, Radialduktion und Supination mit Druck von palmar durchgeführt wird. Da Flexionsfrakturen jedoch in der Regel operativ reponiert werden, wird die geschlossene Reposition dieser Frakturen nur durchgeführt, falls eine Kontraindikation für eine Operation besteht.²⁷

Wiederholte sowie unzureichend analgesierte Repositionsmanöver sollten dabei vermieden werden.²³

2.5.7.1.2 Gipsfixation

Die Retention wird durch eine dorsale Unterarm-Gipsschiene oder einen zirkulären Unterarmgips über etwa vier bis sechs Wochen erzielt.²⁵ Da insbesondere bei Unterarmfrakturen die Gefahr von posttraumatischen Schwellungen relativ hoch ist, wird die Gipsschiene gegenüber dem zirkulären Gips bevorzugt. Die Anmodellierung erfolgt über dem Radiusfragment und der Mittelhand bei Extensionsfrakturen in leichter Flexion (ca. 20°) und Ulnarduktion, bei Flexionsfrakturen in Extension und Ulnarduktion. Wichtig ist dabei, dass Daumen-, Finger- und Ellenbogengelenke frei beweglich sind, sodass möglichst frühfunktionelle Bewegungen durchgeführt werden können.^{23,25,27,30}

2.5.7.1.3 Nachbehandlung

Aufgrund der sekundären Dislokationsrate und möglichen Komplikationen sind bei dem konservativen Behandlungsverfahren engmaschige klinische und radiologische Kontrollen dringend erforderlich. Zur klinischen Kontrolle gehört unter anderem die Untersuchung der Sensibilität (insbesondere im Innervationsbereich des Nervus medianus) und Vaskularisation der Finger sowie wenn möglich die Prüfung der Beweglichkeit und die Prüfung der Schmerzskala. Insbesondere bei älteren Patienten können bei etwa einem Drittel der Frakturen während der ersten zehn Tage sekundäre Dislokationen auftreten, teilweise schon nach 24 Stunden. Daher werden nach der Reposition am ersten, vierten, siebten und zehnten Tag posttraumatisch Röntgenverlaufskontrollen durchgeführt.^{3,19,25,27,30} Außerdem sollte bei besonderen Vorkommnissen, wie zum Beispiel einer Verdrehungsbewegung im Gips oder akutem Schmerz, geröntgt werden.³

Zeigt sich anhand der Röntgenaufnahmen eine unzureichende Reposition oder ein Repositionsverlust im Verlauf, ist der Wechsel zu einem operativen Verfahren indiziert.^{23,27}

Um Finger-, Ellenbogen- und Schultergelenkeinstellungen verhindern zu können, ist eine frühzeitige begleitende Krankengymnastik, bei der aktive Bewegungsübungen von Finger, Ellenbogen und Schulter durchgeführt werden, erforderlich. Nach Gipsabnahme sollte die aktive Bewegungstherapie mit Bewegungen im Handgelenk ergänzt werden.^{27,30}

2.5.7.2 Operative Therapie

Zu den Zielen der operativen Therapie gehört zum einen die anatomische Rekonstruktion und zum anderen soll eine frühfunktionelle Nachbehandlung ermöglicht

werden, so dass die Beweglichkeit und die Kraft im Handgelenk frühzeitig wiederhergestellt werden kann.²³

Laut Leitlinie der DGU zur distalen Radiusfraktur bestehen folgende eindeutige Indikationen für eine operative Therapie²⁶:

- Instabile Frakturen (hierzu zählen unter anderem alle Trümmerfrakturen und Flexionsfrakturen^{23,26})
- Dislozierte intraartikuläre Frakturen
- Frakturen mit geschlossenem 2°- und 3°-Weichteilschaden
- 2° und 3° offene Frakturen
- Traumatische Kompression des Nervus Medianus
- Begleitende Gefäß- und/oder Nervenverletzungen
- Erfolgreiche konservative Reposition- und Retentionsversuche
- Dislozierte Flexionsfrakturen
- Akute Durchblutungsstörung nach Reposition
- Komplexe Begleitverletzungen des Handgelenkes und der Handwurzel²⁶

Von den oben genannten Indikationen müssen offene Frakturen sowie begleitende Verletzungen des Nervus Medianus notfallmäßig operiert werden, um die Entwicklung einer Wundinfektion und Osteomyelitis beziehungsweise einen Ausfall des Nervs zu verhindern.^{14,23}

Serienverletzungen der oberen Extremität, Mehrfachverletzungen, beidseitige Frakturen, operationspflichtige lokale Zusatzverletzungen, spezielle berufliche oder funktionelle Anforderungen von Seiten des Patienten (z.B. Uhrmacher, Musiker, Chirurg) oder der ausdrückliche Patientenwunsch stellen relative Indikationen für eine Operation dar.²⁶

Für die distale Radiusfraktur stehen verschiedene operative Verfahren zur Verfügung:

- Bohrdrahtosteosynthese mit anschließender Gipsruhigstellung (insbesondere bei „A2“ und „A3“ nach AO-Klassifikation)
- Schraubenosteosynthese (insbesondere bei „B1“ nach AO-Klassifikation)
- Fixateur externe (vor allem bei erheblicher Weichteilkompromittierung und bei „C3“ nach AO-Klassifikation)
- Intramedulläre Osteosynthese
- Winkelstabile Plattenosteosynthese (insbesondere bei „C1“ und „C2“ nach AO-Klassifikation)^{3,23,27}

Das für diese Arbeit relevante Therapieverfahren ist die winkelstabile Plattenosteosynthese, weswegen die weiteren Behandlungsmethoden teilweise nur kurz erläutert werden.

2.5.7.2.1 Bohrdrahtosteosynthese (Kirschner-Draht-Osteosynthese)

Dieses Verfahren wird vor allem bei metaphysären Extensionfrakturen („A2“- und „A3“-Frakturen) mit mehr als einem Instabilitätskriterium oder bei instabilen kindlichen Radiusfrakturen angewendet.^{23,27} Die Bohrdrähte (Kirschner-Drähte/K-Drähte) werden durch eine Stichinzision über dem Processus styloideus radii eingebracht. Es werden etwa zwei bis drei Drähte mit einem Durchmesser von 1,6-2mm in einem Winkel von 30-45° zur Radiuschaftachse in den Frakturspalt eingebracht und in der Gegenkortikalis verankert wie in Wichelhaus et. al. (2012) gezeigt (vgl. Abb.5 S.258).²³ Nach der postoperativen Gipsruhigstellung (etwa 4-6 Wochen) erfolgt die Metallentfernung in Lokalanästhesie mit anschließenden physiotherapeutischen Übungen. Komplikationen dieses Verfahrens sind eine sekundäre Dislokation, eine Ruptur der Sehne des langen Daumenstrecker sowie eine Verletzung des Ramus superficialis des Nervus radialis, des Nervus medianus und der Arteria radialis. Wenn die Drähte das Hautniveau überragen, ist einerseits die Entfernung der Drähte einfacher und eine Gefahr den Ramus superficialis zu verletzen geringer, andererseits müssen die Eintrittsstellen engmaschig kontrolliert und gepflegt werden, um eine Infektion zu verhindern. Immer mit aufzuklären ist auch die notwendige Entfernung der Kirschner-Drähte nach Konsolidierung.^{23,27,30}

2.5.7.2.2 Schraubenosteosynthese

Diese Operationsmethode eignet sich vor allem zur Behandlung von isolierten Frakturen des radialen Pfeilers, insbesondere bei den sogenannten Chauffeurfrakturen („B1“-Frakturen).²³ Über eine zwei bis drei Zentimeter große Inzision werden die Schrauben unter Durchleuchtungskontrolle über dem Processus styloideus eingebracht. Eine frühfunktionelle belastungsfreie Nachbehandlung ist möglich. Wie auch bei der Bohrdrahtosteosynthese sind auch bei diesem Verfahren der Ramus superficialis des Nervus radialis sowie die Musculus abductor pollicis longus und Musculus extensor pollicis brevis gefährdete Strukturen. Eine Verletzung des Ramus superficialis ist insbesondere bei der Implantatentfernung, die vor allem bei isolierten Radiusstyloidfrakturen geplant werden sollte, zu befürchten.^{23,27}

2.5.7.2.3 Fixateur externe

Diese Behandlungsmethode eignet sich zur Primärstabilisierung bei offenen Frakturen, Frakturen mit ausgedehntem Weichteilschaden, Trümmer- („C3“-Frakturen) und Luxationsfrakturen.^{23,27} Insbesondere Radiusfrakturen im Rahmen eines Polytraumas können mit dieser Methode primär versorgt werden.³⁸ Nach Weichteilkonsolidierung folgt meistens eine interne Osteosynthese, doch auch die Ausbehandlung mit dem Fixateur externe ist möglich.²³ Es werden jeweils zwei Schanz-Schrauben (bzw. Kirschner-Drähten bei Minifixateur) von dorsoradial in den Radiuschaft und in den zweiten Mittelhandknochen gebohrt. Reposition und Retention erfolgen bei diesem System über das Prinzip der Ligamentotaxis.^{30,38} Dieses Prinzip liefert gute Repositionsergebnisse und stellt eine minimalinvasive Methode dar, die kaum zusätzliches Weichteiltrauma verursacht. Um das System zu unterstützen, können zusätzlich Kirschner-Drähte verwendet werden. Eine Entfernung des Osteosynthesematerials ist verfahrensbedingt immer notwendig.²³

Mögliche Komplikationen bei diesem Behandlungsverfahren sind Pintrack-Infektionen, Fraktur des zweiten Mittelhandknochens, Verletzung des Ramus superficialis des Nervus radialis sowie ein sekundärer Repositionsverlust nach Entfernung des Konstrukts. Außerdem lässt dieses Verfahren keine frühfunktionelle Nachbehandlung zu.²³

2.5.7.2.4 Intramedulläre Osteosynthese

Auch die Marknagelosteosynthese ist ein mögliches Verfahren bei extraartikulären „A2“ und „A3“-Frakturen sowie wenig dislozierten „C1“ und „C2“-Frakturen.²³ Hierbei erfolgt die Schienung des frakturierten Knochens über einen für den Radius speziell entwickelten intramedullären Kraftträger.^{23,30} Ligamentotaxis ermöglicht die manuelle Reposition der Fraktur. Nach einer ca. vier Zentimeter langen Hautinzision über der Spitze des Processus styloideus radii, erfolgt die Einführung eines Führungsdrahtes im Zentrum des Processus styloideus radii. Im nächsten Schritt wird die Nageleintrittsstelle durch kanüliertes Bohren vorbereitet. Weiterhin werden proximal in den Radiuschaft zwei Verriegelungsschrauben angebracht, um eine Rotationsstabilität zu gewährleisten und distal weitere Schrauben zur Unterstützung der Gelenkfläche platziert. Letztere dürfen dabei nicht das Radioulnargelenk beeinträchtigen, weswegen nicht zu lange Schrauben gewählt werden sollten. Temporär können zusätzlich Kirschner Drähte das Konstrukt ergänzen. Eine Ruhigstellung mittels Gips ist nicht erforderlich und eine frühfunktionelle Nachbehandlung ist möglich.²³

Laut Wichelhaus, Gradl und Mittlmeier zeigen sich nach intramedullärer Osteosynthese identische radiologische und funktionelle Ergebnisse zu den Ergebnissen nach palmarer Plattenosteosynthese sowie weniger weichteilbedingte Komplikationen (insbesondere sekundäre Sehnenrupturen).²³ Eine Wiederherstellung der Palmarinklination gelinge bei höhergradig instabilen Frakturen allerdings weniger.²³

2.5.7.2.5 Winkelstabile-Plattenosteosynthese

Nachdem die Wahl des therapeutischen Verfahrens der distalen Radiusfraktur in den 90er-Jahren meistens auf die konservative Therapie oder eine minimal-invasive Bohrdrahtosteosynthese fiel, stieg im letzten Jahrzehnt die Tendenz zur winkelstabilen Plattenosteosynthese, welche heutzutage das bevorzugte Verfahren der distalen Radiusfraktur ist und sich auch gegenüber der Kompressionsplatte weitestgehend durchgesetzt hat.^{27,38} Diese Behandlungsmethode ermöglicht eine anatomische Rekonstruktion sowie eine hohe Stabilität des Repositionsergebnisses unmittelbar postoperativ und eine damit verbundene frühfunktionelle Nachbehandlung.^{23,30}

Bei dem „klassischen“ Prinzip der Plattenosteosynthese mittels Kompressionsplatte (Abb.12) werden durch die im Knochen verankerten Schrauben Zugkräfte erzeugt, welche die Fraktur durch Kompression zwischen Platte und Knochen stabilisieren.^{30,38,39} Da dieses System durch die ausgeübten Kräfte eine Belastung für den Knochen darstellt, werden heutzutage ausschließlich die weniger invasiven winkelstabilen Plattensysteme verwendet, welche die Fraktur, ähnlich wie beim Fixateur externe, überbrücken anstatt sie zu schienen. Dies wird mechanisch erreicht, indem spezielle Schrauben mit eigenem integriertem Bohrkopf stabil im Knochen (vordere Anteil) und in der Platte (Schraubenkopf) fixiert werden und somit in einem stabilen Winkel zur Platte verharren (Winkelstabilität) (Abb.13).^{14,30,39} Aus diesem Grund hat dieses System gegenüber den herkömmlichen nicht winkelstabilen Systemen den Vorteil, dass das Periost zwischen Platte und Knochen geschont und eine größere Ausrisssstabilität ermöglicht wird.^{14,30} Folglich wird weniger Halt im Knochen benötigt, sodass dieses Verfahren auch bei osteoporotischer Knochenstruktur sowie zur Überbrückung von Trümmerzonen gut geeignet ist.^{23,30}

Nachdem die Indikation zur winkelstabilen Plattenosteosynthese gestellt wurde, wird entschieden welcher Zugangsweg gewählt wird. Dabei unterscheidet man zwischen dorsaler und palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese. In diesem Zuge sollte gemäß des biomechanischen Drei-Säulen-Modells des Handgelenks darauf geachtet werden, dass alle drei Säulen ausreichend Stabilität erlangen. Eine Verletzung der radialen Säule kann sowohl von dorsal als auch von palmar abgestützt werden. Der

Schlüssel zum radiokarpalen Gelenk ist die intermediäre Säule. Ist diese betroffen, erfolgt die formale Revision der Gelenkfläche über eine dorsale Arthrotomie. Die ulnare Säule sollte individuell betrachtet werden. Liegt ein palmoulnares Fragment vor, sollte dies durch einen palmaren Zugang und ein dorsoulnares Fragment durch einen dorsalen Zugang operiert werden.¹⁴

Nach Konsolidierung ist bei palmarer Plattenlage individuell abzuwägen, ob eine Implantatentfernung nötig ist. Mögliche Indikationen für diese sind mechanische Irritationen oder sensomotorische Störungen. Während bei der palmaren Lage der Platte demnach keine generelle Empfehlung für die Metallentfernung vorliegt, sollte bei der dorsalen Lage auch bei älteren Patienten eine Empfehlung zur Metallentfernung ausgesprochen werden. Dies liegt in der engen Beziehung der dorsalen Platten zu den Strecksehnen begründet, wodurch auch ohne anfänglichen Beschwerden eine dauerhafte Schädigung der Strecksehnen entstehen kann.^{23,38}

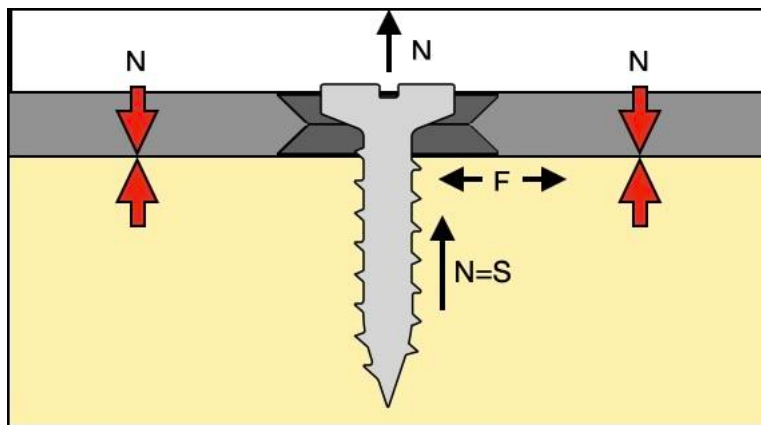


Abbildung 12 - "Klassisches" Platten-System mittels Kompressionsplatte.
N=Kompressionskraft zwischen Platte und Knochen. F=Kraft durch Reibung zwischen Knochen und Platte. S=Scherkraft an der Grenzfläche von Knochen und Schraube durch Anzugsdrehmoment der Schraube. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Claes et. al. (2011)³⁹

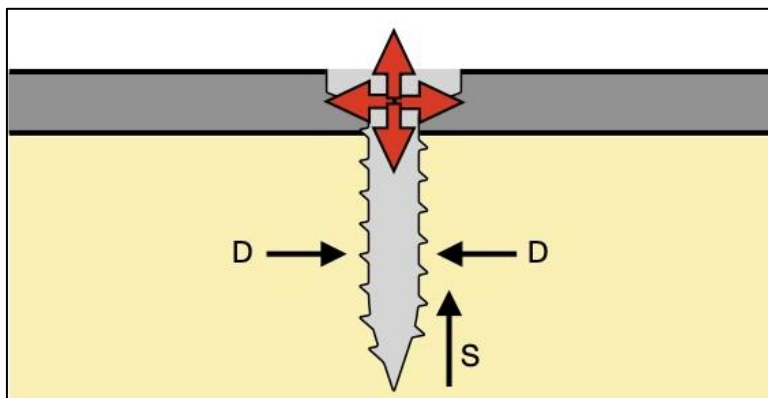


Abbildung 13 - Winkelstabilen Platten-System. Übertragung der Kraft zwischen Schrauben und Knochen größtenteils durch Druckbelastung (D). S=Scherkräfte

an der Grenzfläche von Knochen und Schraube durch äußere Belastung.
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Claes et. al.(2011)³⁹

Palmare Winkelstabile Plattenosteosynthese

Die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese (Abb.14) gilt für die distale Radiusfraktur als das Verfahren der Wahl und hat ein breites Anwendungsspektrum gefunden.^{23,30,40} Etablierte Indikationen nach AO-Klassifikation sind Frakturen vom Typ „A2“, „A3“, „B2“, „B3“, „C1“, „C2“ und „C3“.³⁰ Insbesondere bei Flexionsfrakturen ist der Zugang von palmar aufgrund des Frakturverlaufs ideal geeignet. Aufgrund der Winkelstabilität kann aber auch bei Extensionsfrakturen bzw. dorsal gelegenen Trümmerzonen eine Adressierung der Frakturen von palmar erfolgen.^{23,30} Dies gelingt dadurch, dass die Kräfte aus der subchondralen Schicht der distalen Radiusgelenkfläche von der winkelstabilen Platte aufgenommen und proximal der Fraktur wieder auf den Radius übertragen werden. Lediglich bei hochgradig instabilen, intraartikulären Trümmerfrakturen vom Extensionstyp („C3“) ist gegebenenfalls eine zusätzliche Versorgung von dorsal notwendig.¹⁴

Der operative Zugangsweg befindet sich radiopalmar entlang der Sehne des Musculus flexor carpi radialis (Abb.14).⁴⁰ Nach Eröffnung dessen Sehnenfächer, wird der darunter liegende Musculus pronator quadratus, unter Belassen eines kleinen radialen Restanteils zur Refixation, vom Radius abgeschoben wie in Wichelhaus et. al. (2012) gezeigt (vgl. Abb.11 S.262).²³ Anschließend kann die Reposition und Stabilisierung der nun freiliegenden Fraktur über zwei verschiedene Wege geschehen. Entweder direkt durch eine schrittweise Reposition der Fragmente mit nachfolgender Platzierung der Platte, oder indirekt durch die winkelstabile Platte selbst. Beim Anbringen der Platte ist darauf zu achten, dass diese nicht zu weit distal an der palmaren Radiuskante (sogenannte Watershed Line) positioniert wird, um Irritationen der Beugesehnen zu verhindern. Nachdem die Platte korrekt platziert wurde, das heißt mittig auf dem Radius und proximal der „Watershed Line“, wird die distale Schraubenreihe subchondral und ohne Perforation der dorsalen Kortikalis positioniert, sodass eine Irritation der Strecksehnen (insbesondere des Musculus Extensor pollicis longus) verhindert wird. Dabei wird empfohlen die Länge der distalen Schrauben ca. zwei Millimeter kürzer als in der intraoperativen Messung zu wählen. Seit Einführung der winkelstabilen Platten muss bei knöchernen Defekten nur noch selten eine Spongiosaplastik eingesetzt werden.^{14,23,27,30}

Vorteile des palmaren Zugangs gegenüber dem dorsalen sind eine geringere Gefahr von Sehnenirritationen, eine bessere Weichteildeckung des Implantats und bei palmar meist einfach-frakturierten Kortikalis eine gute Kontrolle der Frakturposition.²³ Aufgrund der

anatomischen Lage besteht jedoch die Gefahr einer Nervus Medianus und Arteria radialis Verletzung. Weitere mögliche Komplikationen sind eine ungenügende Reposition mit Gelenkstufen, intraartikuläre oder dorsal überstehende Schraubenplatzierung sowie die Ruptur der Sehnen des Musculus flecor carpi radialis und des Musculus flexor pollicis longus.²⁷

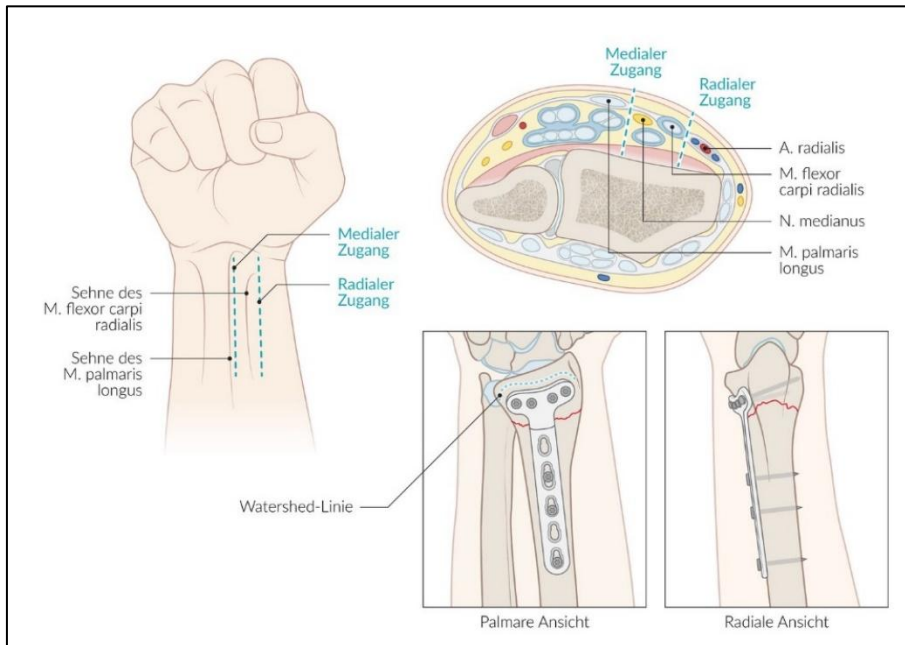


Abbildung 14 - Operative Therapie der distalen Radiusfraktur: Palmare Plattenosteosynthese. Mit freundlicher Genehmigung der Amboss GmbH.⁴⁰

Dorsale winkelstabile Plattenosteosynthese

Obwohl der palmare Zugangsweg ein breites Anwendungsspektrum findet und bei distaler Radiusfraktur deutlich häufiger gewählt wird, können nicht alle Frakturen über diesen reponiert werden, sondern müssen trotz der höheren Komplikationsrate über den dorsalen Zugangsweg therapiert werden.^{23,41} Dieser ist vor allem bei Frakturen vom Typ „B“ und „C1-3“ mit dorsal betonter oder nicht von palmar adressierbarer Pathologie indiziert, welche mittels moderner multidirektional winkelstabiler palmarer Implantate nicht sicher reponiert und stabilisiert werden können.³⁸ Die Inzision erfolgt hierbei durch einen Längsschnitt etwas radial der Handgelenksmitte mit anschließender treppenförmiger Spaltung des Retinaculum extensorum. Die Strecksehnen werden dann vom distalen Radius freigelegt und beiseite gehalten. Über diesen Zugangsweg lässt sich auch die radiokarpale Gelenkfläche gut erreichen, indem man die Handgelenkscapsel türblattartig „aufklappt“ und zur Seite präpariert, um sie danach wieder zu „verschließen“.²³

Nachteilig an diesem Zugangsweg ist vor allem das hohe Risiko der Sehnenirritationen und/oder Rupturen des Extensor pollicis longus.³⁰

2.5.7.2.6 Operative Verlaufsbeurteilung

Zur Verlaufsbeurteilung nach operativer Behandlung gehören wie bei der konservativen Therapie stets klinische (Wundkontrolle, Sensibilität, Vaskularisierung, Motorik und Schmerzskala) und radiologische (Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen unmittelbar postoperativ sowie nach sechs bis zwölf Wochen) Verlaufskontrollen. Dabei ist vor allem auf die Früherkennung der typischen Zeichen eines sogenannten chronic regional pain syndrome (CRPS), sekundärer Strecksehnenrupturen und verbliebenen oder neu entstandenen Gelenkstufen zu achten. Bei Verdacht auf einen Verlauf mit Komplikationen erfolgt eine Wiederaufnahme der Diagnostik und Therapie.^{19,26}

2.5.8 Folgeschäden und Komplikationen

Die sekundäre Dislokation und die in Fehlstellung verheilte Radiusfraktur sind nach wie vor die am häufigsten auftretenden Komplikationen.²³ Bei extraartikulären Fehlstellungen kann beispielsweise eine metaphysäre Abknickung und ein Längenverlust des Radius vorliegen, bei intraartikulären Fehlstellungen eine Inkongruenz im Radiokarpal- und/oder im Radioulnargelenk.¹⁹ Insbesondere bei der konservativen Therapie mittels Gipsruhigstellung zeigen sich bei bis zu 20% der Frakturen Fehlstellungen. Bei der Kirschner-Draht-Osteosynthese liegt die Rate bei unter 10% der Frakturen.²³ Sekundäre Dislokationen treten häufiger bei der konservativen Therapie und meist innerhalb der ersten zwei Wochen auf.^{23,27} Bei Kindern kann ein Fehlwachstum durch eine mögliche Epiphysen Schädigung resultieren.²⁷

Die Heilung in Fehlstellung kann funktionelle Einschränkungen bedingen, was sich in Fehlstellung der Gelenkwinkel, schmerzhafter Einschränkung der Handgelenkbeweglichkeit, posttraumatischer radiokarpaler Arthrose, Pseudoarthrose des Radius (selten) sowie Pseudoarthrose des Processus styloideus ulnae (häufig) äußern kann.³⁰ Um diese zu verhindern sollte in Abhängigkeit von der Fehlstellung, der Beschwerdesymptomatik sowie der patientenindividuellen Umstände (Alter, Knochenqualität, Funktionsanspruch) eine Korrekturosteotomie durchgeführt werden.^{23,42} Damit diese adäquat geplant werden kann, ist gelegentlich eine Ergänzung zu den Standardprojektionen und Vergleichsaufnahmen der Gegenseite durch eine CT-Untersuchung für die Beurteilung der Rotationsverhältnisse des distalen Radius erforderlich. Ist der trianguläre fibrokartilaginäre Komplex betroffen, können zudem Magnetresonanz-Untersuchungen zusätzliche Informationen liefern.¹⁹

Die Entwicklung eines CRPS ist eine weitere relativ häufige Komplikation der distalen Radiusfraktur. Dieses ist als eine schmerzhafte Dystrophie mit regionalen Durchblutungsstörungen der Weichteile und Knochen definiert und durchläuft einen stadienhaften Prozess, welcher im Endstadium bis hin zur Muskelatrophie und Fibrosierung von Kapsel und Bändern mit zunehmender Funktionsstörung des Handgelenkes führen kann.^{23,27} Die Inzidenz beträgt etwa zwei bis zehn Prozent der Frakturen. Nach Literaturangaben besitzen hierbei alle operativen und konservativen Verfahren das gleiche Risiko dieses zu entwickeln.²³ Mögliche Risikofaktoren sind häufige und schmerzhafte Repositionsmanöver, eine unzureichende Schmerzbekämpfung und eine ungenügende Ödemprophylaxe (Antiphlogistika, Hochlagern) sowie eine persönliche Disposition. Trotz frühzeitiger und konsequenter Therapie (vor allem eine adäquate Analgesierung und gegebenenfalls psychosomatische Begleittherapie) sind Funktionsdefizite eher die Regel als die Ausnahme. Je früher dieses Schmerzsyndrom jedoch diagnostiziert und behandelt wird, desto besser ist die Prognose.²⁷

Eine Komplikation, welche eine notfallmäßige Reposition erfordert, ist das Medianuskompressionssyndrom. Das Persistieren oder Neuauftreten der Symptome nach Reposition erfordert eine Dekompression des Nervs.¹⁹ Neben der Verletzung des Nervs durch die Fraktur selbst, kann diese, wie zuvor bereits aufgezeigt, vor allem durch die Anbringung oder Entfernung der palmaren Plattenosteosynthese ausgelöst werden (wenn auch selten).²³ Hinweise für die Verletzung des distalen Nervus Medianus sind neben Sensibilitätsstörungen (Parästhesien und Dysästhesien) besonders an den Fingerkuppen der radialen dreieinhalb Finger sowie an der radialen Hohlhand, zusätzliche motorische Ausfälle der Thenarmuskulatur (Thenaratrophie). Das bei letzteren auftretende positive „Flaschenzeichen“ wird durch den Ausfall bzw. die Schwäche des Musculus abductor pollicis brevis verursacht, wodurch ein rundes Gefäß mit der betroffenen Hand nicht mehr völlig umfasst werden kann.^{20,23}

An dieser Stelle ist auch die Entwicklung eines posttraumatischen Karpaltunnelsyndrom zu nennen, welches durch chronische Druckschädigung des Nervs beim Durchtritt durch den Karpaltunnel die gleichen Beschwerden wie bei der idiopathischen oder traumatischen Verletzung des Nervs verursachen kann. Ursächlich für dieses Syndrom sind bei konservativer ebenso wie bei operativer Therapie narbige Umbauprozesse des verletzungsbedingten Hämatom.²³

Wie zuvor bereits erwähnt, zählen auch die Sehnenverletzungen (Sehnenscheidentzündungen bis hin zu Sehnenrupturen) zu möglichen Komplikationen, die in der Regel bei der konservativen Therapie durch die Fragmentkante bei fehlverheilten Fraktur und bei der operativen Therapie durch scheuernde Implantate

verursacht werden.^{19,23} Zu den Sehnenscheidenentzündungen gehört auch die Tendovaginitis de Quervain, die bei etwa zweieinhalb Prozent der Frakturen als Komplikation vorliegen kann und durch eine schmerzhafte Einengung der im ersten Strecksehnenfach verlaufenden Sehnen des Musculus abductor pollicis longus und Musculus extensor pollicis brevis definiert ist.²⁷

Bei der Aufklärung immer zu nennende potenzielle Komplikationen sind auch die allgemeinen Infekt- und Implantat Komplikationen nach Osteosynthese, welche sich primär klinisch manifestieren, aber auch durch Osteolysezonen und gelegentlich Implantatlockerungen radiologisch sichtbar werden können.¹⁹

Weiterhin ist im Langzeitverlauf die oben bereits erwähnte posttraumatische Handgelenksarthrose im Radiokarpalgelenk und im distalen Radioulnargelenk nach fehlerverheilten Radiusfraktur eine relevante Komplikation.³

2.6 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit soll eine Übersicht schaffen, inwieweit die operative Versorgung bei den verschiedenen Frakturtypen und Frakturmechanismen zum Erreichen eines möglichst optimalen Operationsergebnisses geführt hat.

Dabei wird die Wiederherstellung der physiologischen Werte der Böhler-Winkel als Maß eines optimalen Repositionsergebnisses angenommen.²

Die aufgestellte Hypothese dabei ist, dass Repositionsergebnis abhängig von Frakturtyp und Frakturmechanismus ist.

3 Material und Methode

3.1 Datenerhebung

Die vorliegende retrospektive Studie befasste sich mit der Wiederherstellung der Böhler-Winkel 1 und 2 bei distaler Radiusfraktur nach geschlossener Reposition und nach Versorgung mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese. Dabei wurde die geschlossene Reposition der Fraktur nach Trauma jeweils mittels „Aushängen“ und Gipsverband durchgeführt. Anschließend wurden die untersuchten Frakturen durch eine palmare winkelstabile Plattenosteosynthese versorgt und fixiert.

Es wurde eine Stichprobe von 208 distalen Radiusfrakturen eingeschlossen, welche im Zeitraum von September 2017 bis September 2019 in der Unfallchirurgischen Abteilung im Helios-Klinikum Siegburg stationär aufgenommen worden sind und folgende Kriterien erfüllten:

- Distale Radiusfraktur
- Operative Versorgung der Fraktur mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese
- Vorliegen von Röntgenaufnahmen des Handgelenks in zwei Ebenen nach Trauma
- Vorliegen von Röntgenaufnahmen des Handgelenks in zwei Ebenen nach geschlossener Reposition
- Vorliegen von Röntgenaufnahmen des Handgelenks in zwei Ebenen nach operativer Versorgung

Alle Fälle mit distaler Radiusfraktur bei denen eine der Röntgenaufnahmen fehlte oder bei denen keine palmare winkelstabile Plattenosteosynthese durchgeführt wurde, wurden nicht in die Studie mit aufgenommen.

Sämtliche Röntgenaufnahmen (posttraumatisch/ nach Reposition/ postoperativ) lagen dabei digital Radiologie-Informationen-System-medavis PACS vor und wurden mittels dieses Systems vermessen. Es handelte sich jeweils um Röntgenaufnahmen im anterior-posterioren und streng lateralen Strahlengang. Die pseudonymisierten Patientendaten im System enthielten Geburtsdatum, Geschlecht und Unfalldatum.

3.2 Pseudonymisierung

Damit die Auswertung der Patientendaten pseudonymisiert erfolgen konnte, wurden die betroffenen Patientendaten aus dem System medavis PACS exportiert, die Vor- und

Nachnamen gelöscht, sodass die Patienten nur noch durch Geburtsdatum und Unfalldatum auseinandergehalten werden konnten. Anschließend wurden die pseudonymisierten Patienten wieder ins System importiert, welche zur Datenerhebung verwendet worden sind.

3.3 Messverfahren

Anhand von den Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen wurden zwei verschiedene Einteilungen der Frakturen vorgenommen. Erstens die Einteilung in eine Flexions- oder Extensionsfraktur. Zweitens die Einteilung anhand der universalen Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO-Klassifikation) wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben.

Zudem wurden jeweils anhand der digitalen Röntgenaufnahmen (posttraumatisch/nach Reposition/postoperativ) im anterior-posterioren Strahlengang der Böhler-Winkel 1 und im lateralen Strahlengang der Böhler-Winkel 2 ausgemessen. Das Radiologie-Informationssystem medavis PACS besitzt unter anderem eine Funktion, mit der sich Winkel ausmessen lassen. Dabei wurde jeweils zuerst eine Gerade gezogen, welche die Radiuslängsachse bestimmt und danach die Senkrechte zu dieser Geraden eingezeichnet. Anschließend konnte der Winkel zwischen der Senkrechten zur Radiuslängsachse und der Tangenten der Radiusgelenkflächenenden (Gerade, welche die Radiusgelenkflächenenden verbindet) bestimmt werden. Alle Einteilungen und Messungen wurden von einer Person durchgeführt.

Danach wurde die Wiederherstellung der Böhler-Winkel 1 und 2 nach Reposition und postoperativ innerhalb des Frakturmechanismus und innerhalb der unterschiedlichen Frakturtypen verglichen. Dafür wurden folgende Zielwerte für die Winkel festgelegt, welche den physiologischen Werten entsprechen und nach Operation wieder hergestellt sein sollten:

- 1. Böhler-Winkel 1: 20-25°**
- 2. Böhler-Winkel 2: 10-15°**

Um noch besser beurteilen zu können, wie viel und wie schnell nach Trauma jeweils korrigiert werden konnte, wurden außerdem verschiedene absolute Differenzen der Winkel zu verschiedenen Zeitpunkten (posttraumatisch/nach Reposition/postoperativ) festgelegt und verglichen. Beispielsweise wurde der absolute Wert des Böhler-Winkel 1 posttraumatisch vom absoluten Wert des Böhler-Winkel 1 zum Zeitpunkt der Reposition abgezogen. Dabei wurden folgende Differenzen beschrieben:

- Differenz 1a: Böhler 1 Reposition - Böhler 1 posttraumatisch

- Differenz 1b: Böhler 1 Postoperativ - Böhler 1 Reposition
- Differenz 1c: Böhler 1 Postoperativ - Böhler 1 posttraumatisch
- Differenz 2a: Böhler 2 Reposition - Böhler 2 posttraumatisch
- Differenz 2b: Böhler 2 Postoperativ - Böhler 2 Reposition
- Differenz 2c: Böhler 2 Postoperativ - Böhler 2 posttraumatisch

Von diesen absoluten Differenzen wurden jeweils der Median, der Interquartilsabstand sowie Minimum- und Maximum-Werte ermittelt und innerhalb der Frakturtypen und Frakturmechanismus verglichen.

3.4 Statistische Auswertung

Die Erfassung und Aufbereitung der Daten sowie die Erstellung von Diagrammen wurde mittels Microsoft Excel 2010 vorgenommen.

Zuerst wurden jedem Patienten in einer Excel Tabelle eine Fallnummer sowie eine Zeile zugewiesen. Anschließend konnten alle den Patienten betreffenden, erhobenen Daten in die dazugehörigen Spalten eingetragen werden. Dazu gehörten:

- Geburtsdatum
- Studiendatum
- Alter
- Geschlecht
- Flexions- oder Extensionsfraktur
- Frakturtyp nach AO-Klassifikation („A1-3“/ „B1-3“/ „C1-3“)
- Böhler-Winkel 1 posttraumatisch/ nach Reposition/ postoperativ
- Böhler-Winkel 2 posttraumatisch/ nach Reposition/ postoperativ

Zahlenwerte, wie auch die Winkel, konnten ohne Verschlüsselung in die Zellen eingefügt werden. Frakturmechanismus und -typ wurden mit „ja“ oder „nein“ beantwortet und eingetragen. Geschlechterverteilung, Altersdurchschnitt und -verteilung sowie die absoluten (Anzahl) und relativen (Prozent) Häufigkeiten der Frakturmechanismen und der Frakturtypen wurden mittels der Excel Tabelle berechnet.

Die weiteren statistischen Auswertungen, welche vor allem den Vergleich der Winkel innerhalb der Frakturmechanismen und -typen zum Ziel hatten, wurden mit IBM SPSS Statistics (Version 26) für Windows durchgeführt. Dafür wurden die Frakturmechanismen und -typen numerisch verschlüsselt ([1, 2]; [1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]).

Zum einen wurde das postoperative Erreichen der Zielwerte der Böhler-Winkel (Böhler-Winkel 1: 20-25°; Böhler-Winkel 2: 10-15°) in absoluten und relativen Häufigkeiten dargestellt und verglichen. Die Analyse, ob die Werte im Zielbereich lagen oder nicht, wurde mit Kreuztabellen und „Fishers exaktem Test“ durchgeführt. Zum anderen wurden die absoluten Differenzen der Winkel (siehe Kapitel 4.3) dargestellt und innerhalb der Frakturmechanismen und Frakturtypen verglichen.

Für die deskriptive Statistik wurden jeweils Mittelwert und Standardabweichung oder Median und Interquartilsabstand, sowie Minimum und Maximum erhoben. Die Vergleiche der Frakturmechanismen wurden mit Mann-Whitney-Tests durchgeführt. Aufgrund des Vorliegens von Ausreißern wurden die Mittelwertvergleiche für die absoluten Differenzen der Winkel innerhalb der verschiedenen Frakturtypen mit nichtparametrischer ANOVA nach Kruskal Wallis analysiert. Multiple paarweise post-hoc-Tests wurden nach Bonferroni für die Alphafehlerkumulierung korrigiert.

P-Werte unter 0,05 wurden als signifikant interpretiert und ein Zusammenhang der untersuchten Werte konnte festgestellt werden. Demnach ließen p-Werte größer 0,05 darauf schließen, dass keine Signifikanz vorliegt und Abweichungen durch Zufall entstanden sind.

4 Ergebnisse

4.1 Patientengut

Die Studie umfasste ein Kollektiv von 202 Patienten, bei denen sechs Patienten aufgrund einer beidseitigen Radiusfraktur doppelt gezählt wurden, sodass 208 distale Radiusfrakturen untersucht worden sind. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme betrug 65,7 Jahre mit einer Streuung (Standardabweichung) von 16,8 Jahren. 62% der Patienten waren älter als 60 Jahre. Der älteste Patient war 93,5 Jahre, der jüngste war 16,1 Jahre alt (Abb.15). 19 % der Patienten waren männlich, 81% waren weiblich (Abb.16).

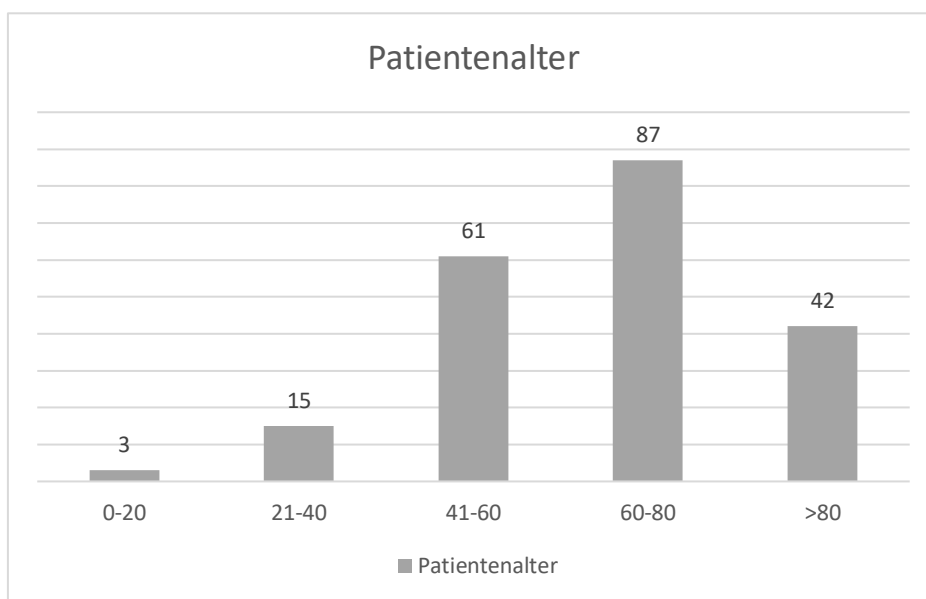


Abbildung 15 – Patientenalter in Gruppen. Absolute Zahlen, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

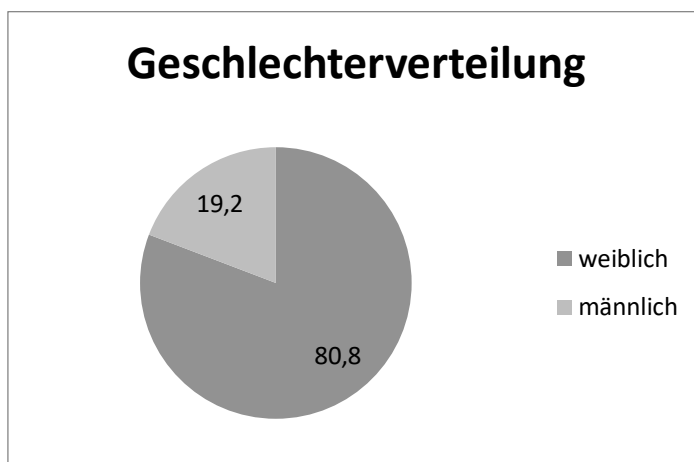


Abbildung 16 – Geschlechterverteilung. Angaben in %, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

4.2 Messergebnisse

4.2.1 Vergleich innerhalb der Frakturmechanismen

Von den 208 distalen Radiusfrakturen zeigten sich 24 Flexionsfrakturen (11,5%) und 184 Extensionsfrakturen (88,5%) (Abb.17).

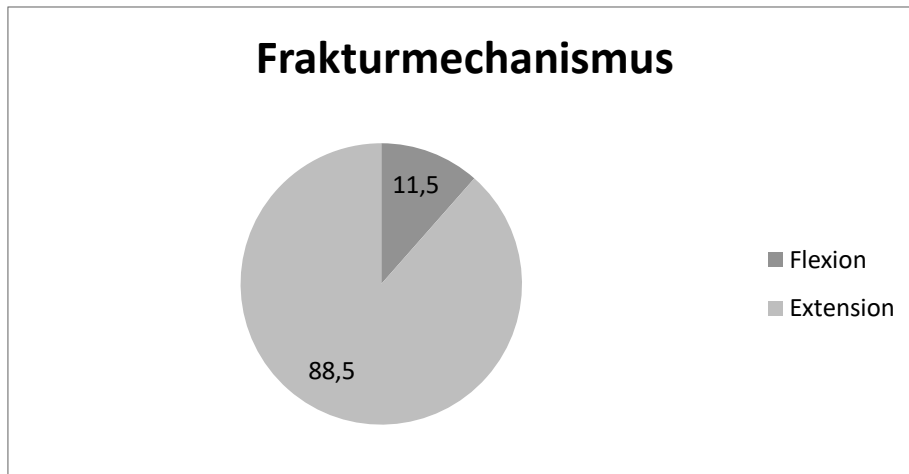


Abbildung 17 – Frakturmechanismus. Angaben in %, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

4.2.1.1 Zielwerte

Anhand von Kreuztabellen (Tab. 1-3) wird dargestellt, ob die Böhler-Winkel nach Operation in dem vorher festgelegten Zielbereich (**Böhler 1= 20-25°; Böhler 2= 10-15°**) liegen.

Dabei fällt auf, dass die Winkel bei den Flexionsfrakturen postoperativ deutlich häufiger im Zielbereich liegen (Böhler 1 im Zielbereich: 95,8%, Böhler 2 im Zielbereich: 95,8%, beide Winkel im Zielbereich: 91,7%).

Bei den Extensionsfrakturen dagegen liegt der Böhler-Winkel 1 bei 79,3%, der Böhler-Winkel 2 bei 66,8% und beide Winkel bei 54,9% der operierten Frakturen im Zielbereich.

Im Vergleich beider Winkel miteinander lässt sich bei der Flexionsfraktur kein Unterschied feststellen, da bei 95,8% der Flexionsfrakturen jeweils der Böhler-Winkel 1 und der Böhler-Winkel 2 im Zielbereich liegen. Bei den Extensionsfrakturen hingegen zeigt sich, dass der Böhler-Winkel 1 postoperativ öfter im Zielbereich liegt (bei 79,3%) als der Böhler-Winkel 2 (66,8%).

Statistisch lässt sich bei diesem Vergleich der Frakturmechanismen nach Fishers exaktem Test eine Signifikanz feststellen (Böhler 2 postoperativ im Zielbereich: $p=0,002$; Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ im Zielbereich $p=0,000$). Wenn man den Böhler-Winkel 1 separat betrachtet, konnte keine Signifikanz angenommen werden (Böhler 1 postoperativ im Zielbereich: $p=0,054$).

Tabelle 1 – Böhler-Winkel 1 postoperativ. p=0,054 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

	Nicht im Zielbereich	Im Zielbereich	Gesamt
Flexion	1 (4,2%)	23 (95,8%)	24 (100%)
Extension	38 (20,7%)	146 (79,3%)	184 (100%)
Gesamt	39 (18,8%)	169 (81,2%)	208 (100%)

Tabelle 2 – Böhler-Winkel 2 postoperativ. p=0,002 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

	Nicht im Zielbereich	Im Zielbereich	Gesamt
Flexion	1 (4,2%)	23 (95,8%)	24 (100%)
Extension	61 (33,2%)	123 (66,8%)	184 (100%)
Gesamt	62 (29,8%)	146 (70,2%)	208 (100%)

Tabelle 3 – Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ. p=0,000 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

	Mindestens ein Winkel nicht im Zielbereich	Beide im Zielbereich	Gesamt
Flexion	2 (8,3%)	22 (91,7%)	24 (100%)
Extension	83 (45,1%)	101 (54,9%)	184 (100%)
Gesamt	85 (40,9%)	123 (59,1%)	208 (100%)

4.2.1.2 Absolute Differenzen

Wie zuvor beschrieben wurden absolute Differenzen der beiden Böhler-Winkel zwischen verschiedenen Zeitpunkten (posttraumatisch/Reposition/postoperativ) ermittelt und die Mediane und Interquartilsabstände verglichen, um den Einfluss starker Ausreißer zu minimieren. Damit die folgenden Grafiken und Tabellen einfacher zu verstehen sind, wurden die Differenzen in diesem Kapitel nochmal aufgeführt:

- Differenz 1a: Böhler 1 Reposition - Böhler 1 posttraumatisch
- Differenz 1b: Böhler 1 Postoperativ - Böhler 1 Reposition
- Differenz 1c: Böhler 1 Postoperativ - Böhler 1 posttraumatisch
- Differenz 2a: Böhler 2 Reposition - Böhler 2 posttraumatisch
- Differenz 2b: Böhler 2 Postoperativ - Böhler 2 Reposition
- Differenz 2c: Böhler 2 Postoperativ - Böhler 2 posttraumatisch

Böhler-Winkel 1:

Wenn man den Median der Differenzen des Böhler-Winkel 1 betrachtet, zeigt sich, dass dieser bei den Flexionsfrakturen immer leicht über denen der Extensionsfrakturen liegt. Insgesamt sind jedoch nur geringe Unterschiede (Median Flexion vs. Extension: 3,1° vs. 2,8°; 2,9° vs. 2,3°; 5,5° vs. 4,8°) zu erkennen, welche im Mann-Whitney Test außer bei der Differenz Postoperativ-Reposition ($p = 0,042$) nicht als signifikant ausgewiesen werden (Abb. 18-20/ Tab. 4).

Die unten folgenden Grafiken zeigen die jeweiligen Medianwerte sowie die Interquartilsabstände. Die Höhenunterschiede der zwei Box Plots spiegeln in allen Diagrammen die unterschiedlich großen Korrekturen der Winkel wider, welche wie oben erwähnt bei der radioulnaren Inklinations (Böhler-Winkel 1) nur geringe Unterschiede aufweisen. Die Breite der Interquartilsabstände ist bei den unterschiedlichen Differenzen ähnlich breit, was bedeutet, dass die Werte ähnliche Streuungen aufweisen. Diese liegen jedoch relativ nah beieinander.

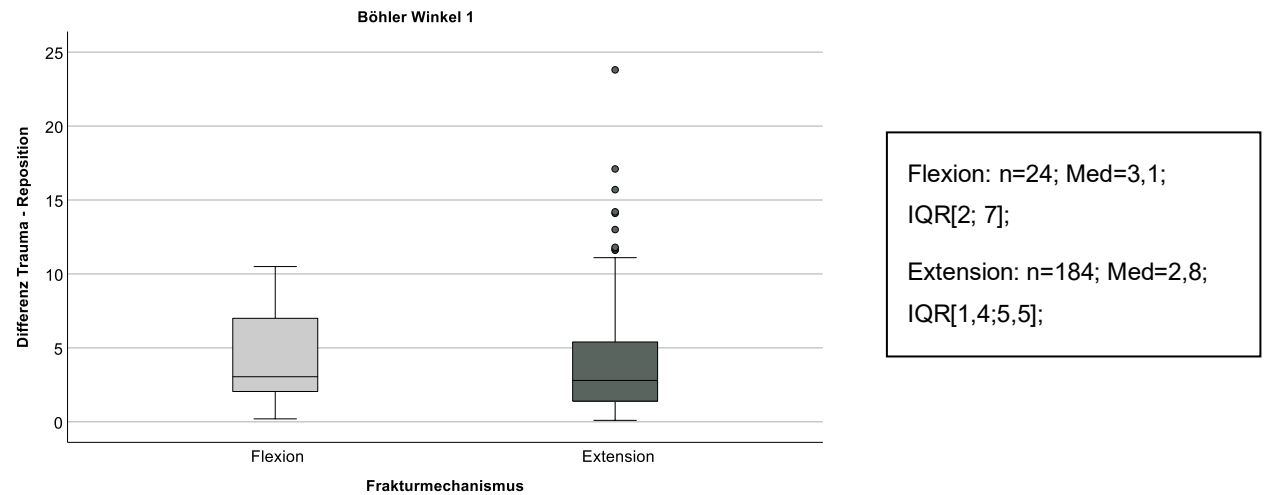


Abbildung 18 – Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz posttraumatisch- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,321, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

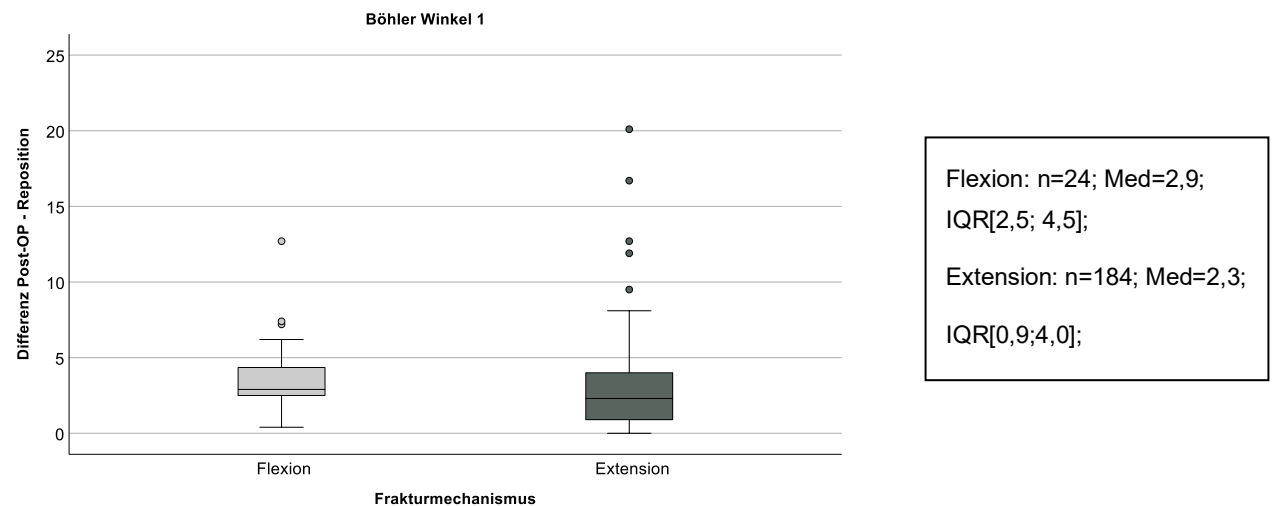


Abbildung 19 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, **p=0,042**, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

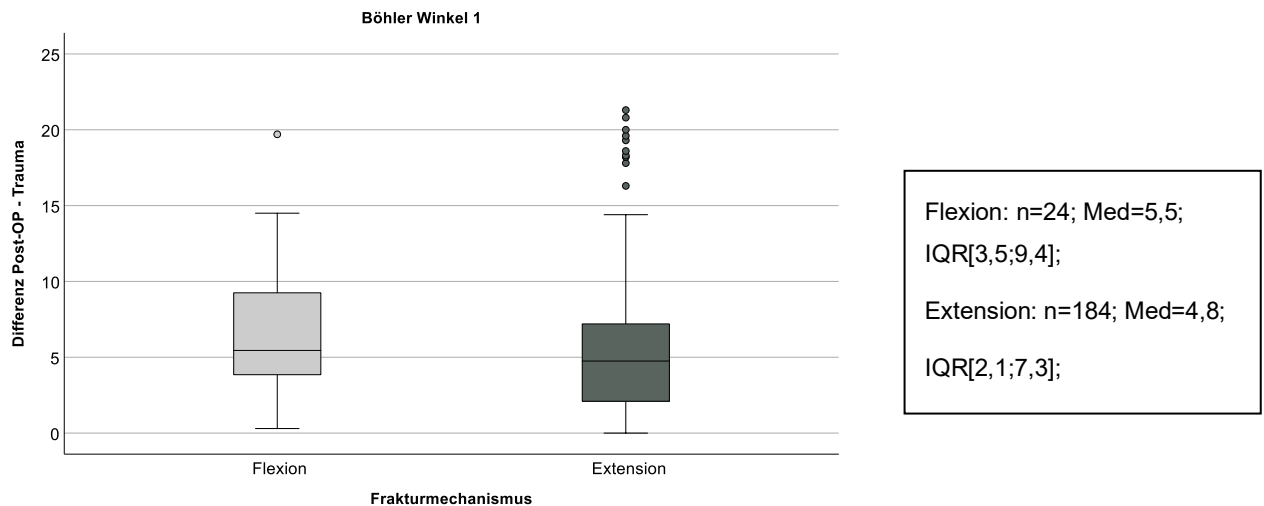


Abbildung 20 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,087, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

Böhler-Winkel 2:

Im Gegensatz zur radioulnaren Inklinationsfinden sich bei den absoluten Differenzen der palmaren Inklinations (Böhler-Winkel 2) größere Medianwerte und Interquartilsabstände bei den Extensionsfrakturen. Die Differenzen sind im Mittel auch größer und es sind deutlichere Unterschiede zwischen Flexion und Extension zu erkennen. Der Median der Differenz von Trauma und postoperativen Böhler-Winkel 2 liegt bei den Extensionfrakturen bei 28,4° und bei den Flexionsfrakturen bei 8,1° (Abb.21-23/ Tab.4).

Die palmar Inklinationswurde durch die Reposition mittels Aushängen bei den Flexionsfrakturen im Mittel um 5,4° und bei den Extensionsfrakturen um 11,9° korrigiert. Die postoperative Korrektur der palmaren Inklinationsnach Reposition beträgt im Mittel bei den Flexionsfrakturen 3,7° und bei den Extensionsfrakturen 14,7°.

Die folgenden Boxplots verdeutlichen die Unterschiede zwischen Extension und Flexion bezüglich der Korrektur der palmaren Inklinations.

Diese Unterschiede konnten im Mann-Whitney Test als signifikant ausgewiesen werden (p=0,005; p=0,000, p=0,000).

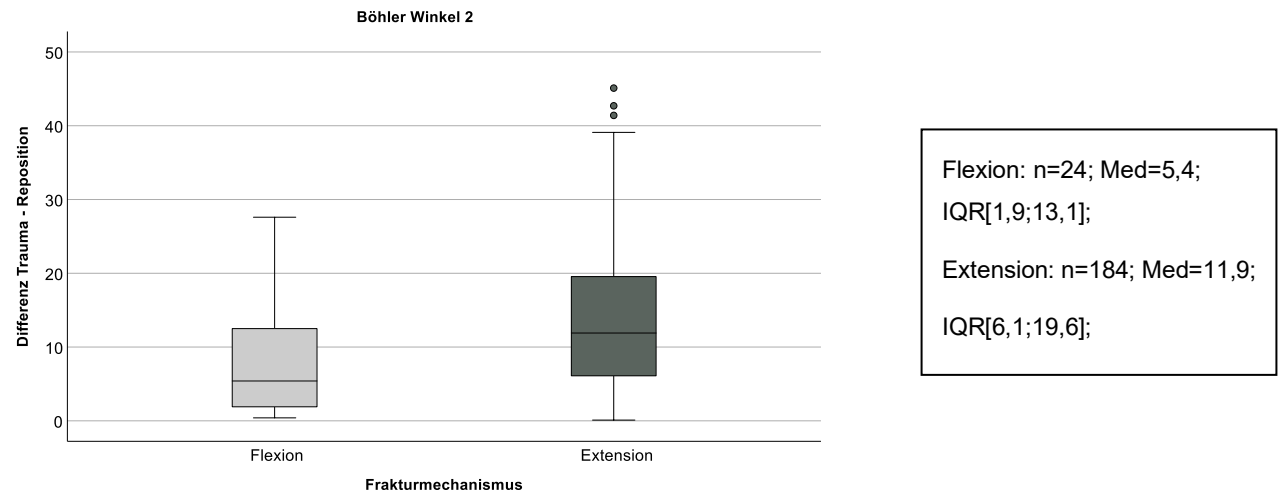


Abbildung 21 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz posttraumatisch- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,005, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

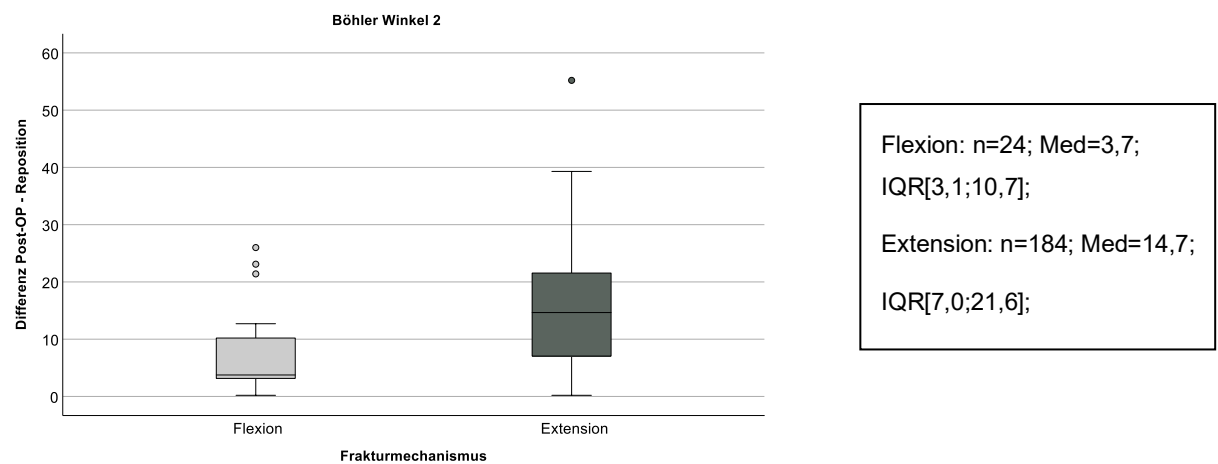


Abbildung 22 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,000, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

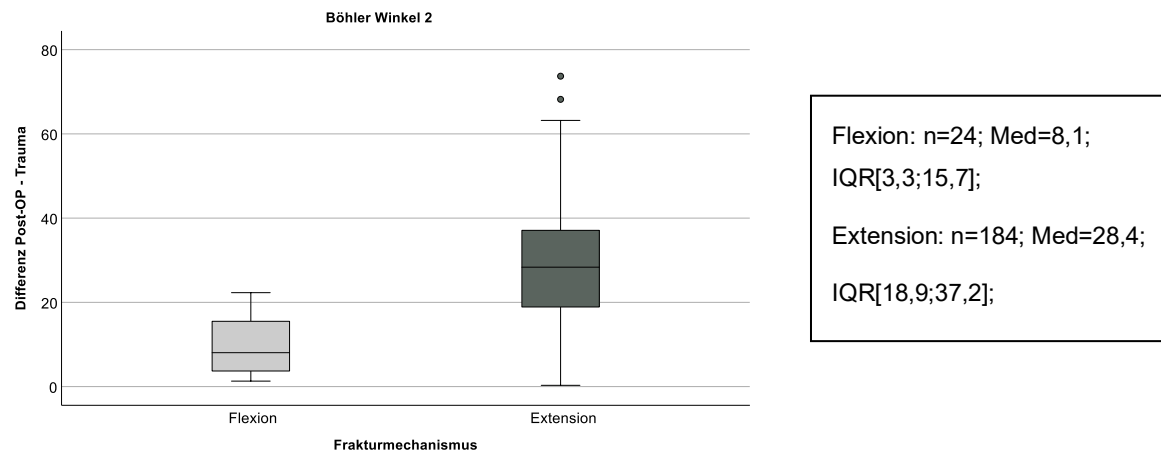


Abbildung 23 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,000, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

In der folgenden Tabelle (Tab.4) ist eine Gesamtdarstellung aufgezeigt, in denen die Werte direkt verglichen werden können und erneut Minimal- und Maximalwerte aufgeführt werden. Es zeigt sich, dass es Frakturen gibt, bei denen eine Differenz von 0,0° von Trauma zu postoperativen Böhler-Winkel 1 vorliegt. Dies bedeutet, dass postoperativ die gleiche radioulnare Gelenkneigung wie direkt nach Trauma vorlag. Die maximale Differenz entspricht einem Wert von 73,7°. Bei diesen Werten kann jedoch von Ausreißern ausgegangen werden, weswegen die Medianwerte verwendet wurden, um die Frakturen zu vergleichen.

Tabelle 4 – Korrekturen der Böhler-Winkel zu verschiedenen Zeitpunkten.
Angaben in Grad, (Med:Median; IQR:Interquartilsabstand [25- und 75 %-Quartil]; Min: Minimum; Max: Maximum, p: Mann-Whitney-Test)

			Med	IQR	Min	Max	p
<i>Böhler 1</i>	Reposition-Trauma	Flexion	3,1	2; 7	0,2	10,5	0,321
		Extension	2,8	1,4; 5,5	0,1	23,8	
	Postoperativ-Reposition	Flexion	2,9	2,5;4,5	0,4	12,7	0,042
		Extension	2,3	0,9;4,0	0,0	20,1	
	Postoperativ-Trauma	Flexion	5,5	3,5;9,4	0,3	19,7	0,087
		Extension	4,8	2,1;7,3	0,0	21,3	

Böhler 2

Reposition-Trauma	Flexion	5,4	1,9;13,1	0,4	27,6	0,005
	Extension	11,9	6,1;19,6	0,1	45,1	
Postoperativ-Reposition	Flexion	3,7	3,1;10,7	0,2	26,0	0,000
	Extension	14,7	7,0;21,6	0,2	55,2	
Postoperativ-Trauma	Flexion	8,1	3,3;15,7	1,3	22,3	0,000
	Extension	28,4	18,9;37,2	0,3	73,7	

4.2.2 Vergleich innerhalb der Frakturtypen

Nach der Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese enthielt die Stichprobe 73 nicht-gelenkbeteiligte „A2“- und „A3“-Frakturen (35,1%), vier „B2“ oder „B3“-Frakturen (1,9%) und 131 intraartikuläre „C1“, „C2“ oder „C3“ Frakturen (63%). Wobei der Anteil der „A3“- und „C2“-Frakturen am größten ist und 60,6% des Kollektivs ausmacht. Während die Typ- „B“-Frakturen den geringsten Anteil darstellen. Außerdem zeigten sich weder „A1“- noch „B1“-Frakturen (Abb.24).

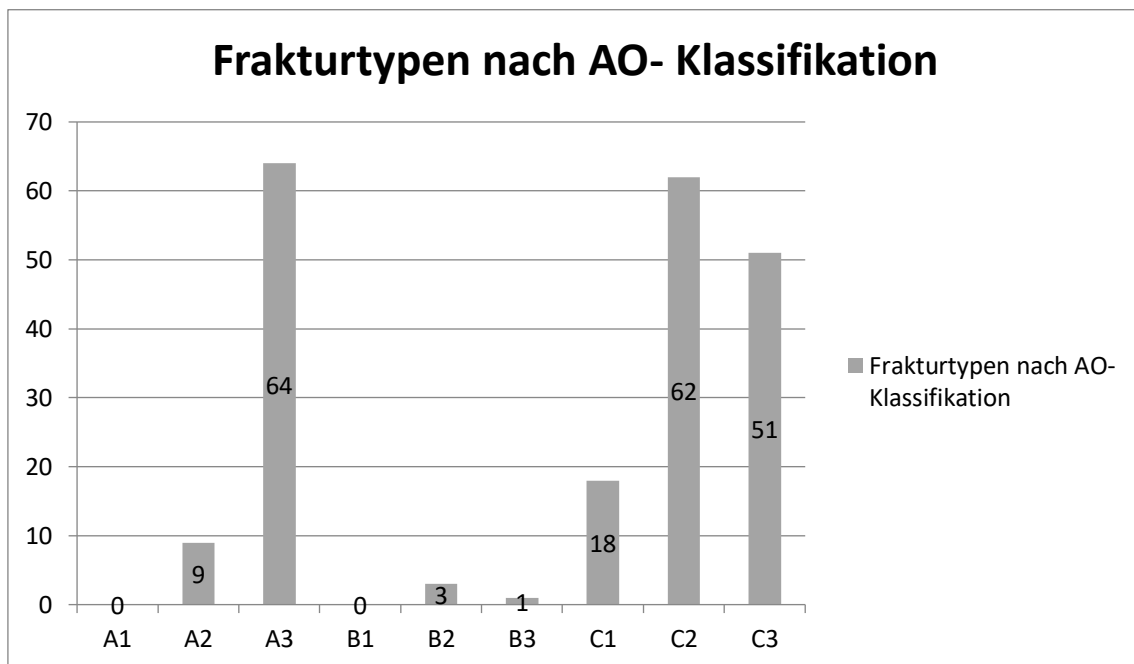


Abbildung 24 - Verteilung der Frakturtypen nach der AO-Klassifikation (x- Achse= Frakturtyp; y-Achse= absolute Anzahl; n=208, Helios Klinikum Siegburg 2017-2019)

4.2.2.1 Zielwerte:

Wenn man den Böhler-Winkel 1 postoperativ betrachtet und innerhalb der Frakturtypen vergleicht, hebt sich die „A2“-Fraktur von den restlichen Frakturtypen ab, da sich hier weniger als die Hälfte (44,4%) der Frakturen im Zielbereich befindet, wohingegen bei den anderen untersuchten Frakturtypen der Anteil, welcher im Zielbereich liegt mindestens 75,8% beträgt (Abb.25).

Betrachtet man den Böhler-Winkel 2 postoperativ gibt es keine deutlichen Unterschiede innerhalb der Frakturtypen, wobei auch hier der Anteil des Böhler-Winkel 2, der postoperativ im Zielbereich liegt, bei der „A2“-Fraktur am geringsten ist (Abb.26).

Wie in Abbildung 27 dargestellt wird, befinden sich beide Böhler-Winkel bei weniger als einem Viertel der postoperativen „A2“-Frakturen (22,2%) im Zielbereich. Bei der Typ- „B3“-Fraktur hingegen liegen bei 100% der Frakturen beide Winkel im Zielbereich. Bei

den weiteren untersuchten Frakturtypen lassen sich keine klaren Unterschiede feststellen.

Statistisch lassen sich diese Beobachtungen nach Fishers exaktem Test jedoch nicht absichern (Böhler-Winkel 1 postoperativ im Zielbereich: $p=0,062$, Böhler-Winkel 2 postoperativ im Zielbereich: $p=0,879$, Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ im Zielbereich: $p=0,249$; nach Fishers exaktem Test).

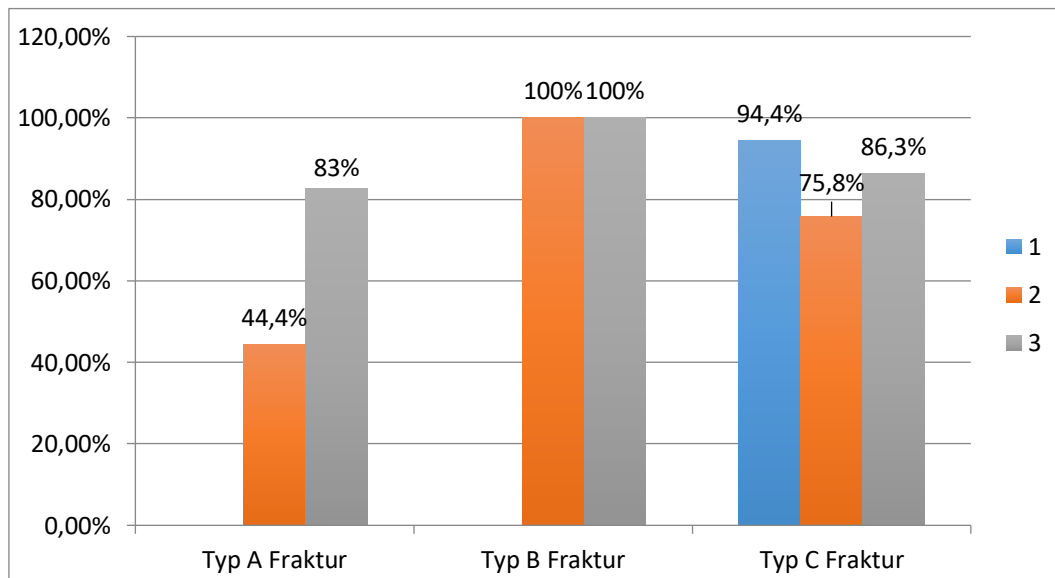


Abbildung 25- postoperativer Böhler-Winkel 1 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019)

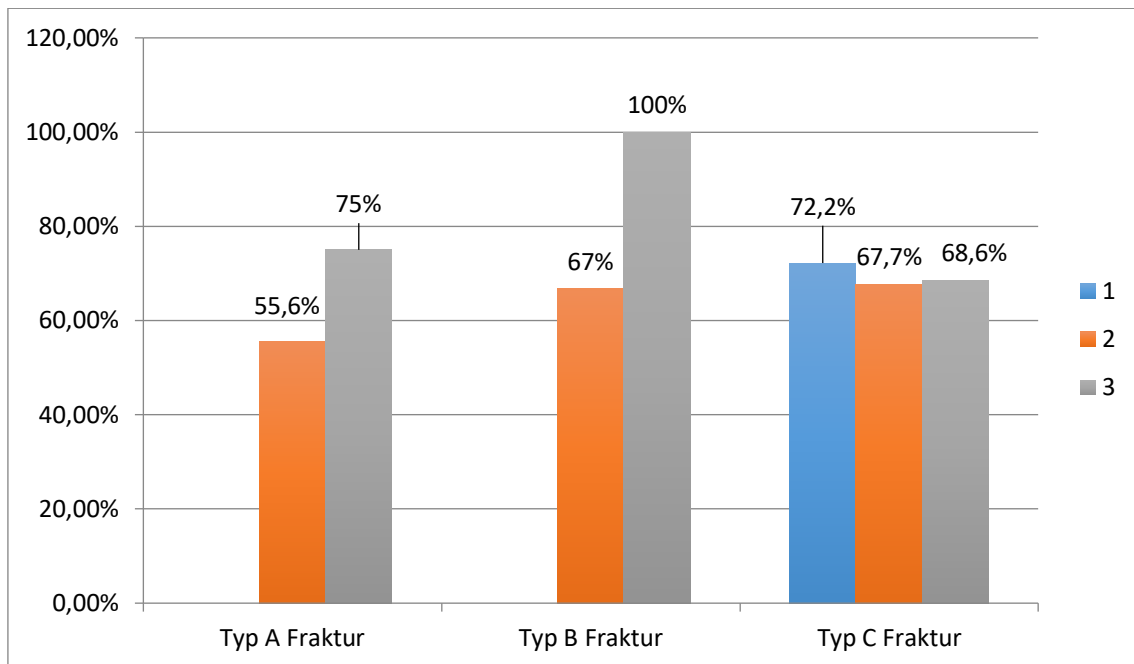


Abbildung 26- postoperativer Böhler-Winkel 2 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019)

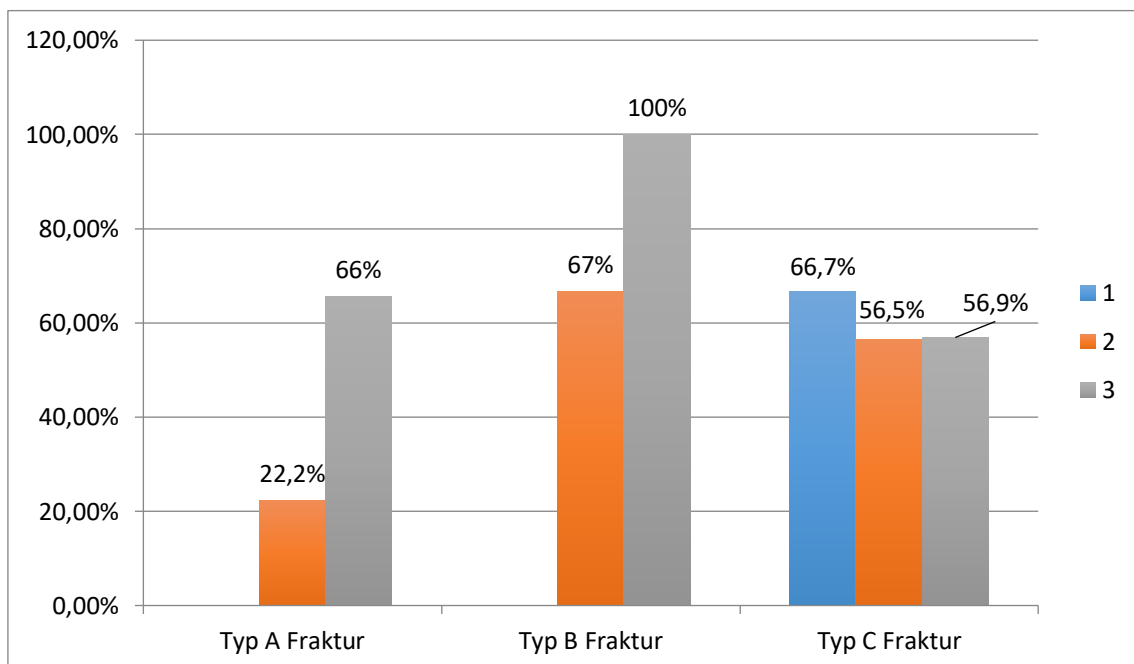


Abbildung 27 - postoperativer Böhler-Winkel 1 und 2 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019)

4.2.2.2 Absolute Differenzen:

Auch beim Vergleich der Frakturtypen wurden, aufgrund von einer asymmetrischen Verteilung sowie Ausreißern, die Mediane und Interquartilsabstände ermittelt und anhand von Box Plots dargestellt. Die „B3“-Fraktur wurde dabei von den Vergleichen rausgenommen, da es hier nur eine Beobachtung gab. Die „B2“-Fraktur mit drei Beobachtungen wurde in die Vergleiche mit einbezogen, hier handelt sich jedoch nicht um die Interquartilsabstände, sondern um Median, Minimum und Maximum.

Wie zuvor beschrieben handelt es sich auch hier um die Differenzen der Böhler-Winkel zu den verschiedenen Zeitpunkten (posttraumatisch/Reposition/postoperativ), welche die Korrekturen der Winkel in Grad angeben.

Falls innerhalb der Mittelwertvergleiche der Differenzen der verschiedenen Frakturtypen mittels ANOVA nach Kruskal Wallis eine Signifikanz festgestellt werden konnte ($p < 0,05$), wurden anschließend multiple paarweise post-hoc-Tests nach Bonferroni durchgeführt. Folglich wurden keine paarweisen Vergleiche vorgenommen, falls $p \geq 0,05$ war.

Da es sich beim Vergleich der Frakturtypen im Gegensatz zum Frakturmechanismus um sechs Vergleiche handelt („A2“, „A3“, „B2“, „C1“, „C2“, „C3“) und die statistische Auswertung komplexer ist, finden sich die Analysen der Grafiken beim Böhler-Winkel 1 jeweils unmittelbar vor der Grafik.

Böhler-Winkel 1:

Differenz 1a: Reposition – posttraumatisch

Die Unterschiede zwischen den Frakturtypen (Abb.28) werden zwar in der ANOVA als signifikant ausgewiesen ($p = 0,02$), aber keiner der paarweisen Differenzen unterschreitet die Signifikanzgrenze (alle $p \geq 0,059$).

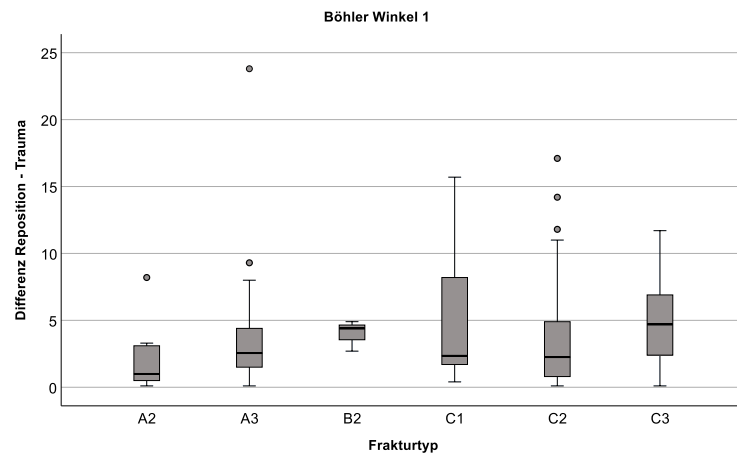


Abbildung 28 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Reposition- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,02, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

Differenz 1b: Postoperativ-Reposition

Bei der Differenz postoperativ zu Reposition zeigt der folgende Box Plot nur sehr geringe Unterschiede bei den Frakturtypen (siehe Abb.29). Statistisch lässt sich dies in der ANOVA allerdings nicht sichern (p=0,28).

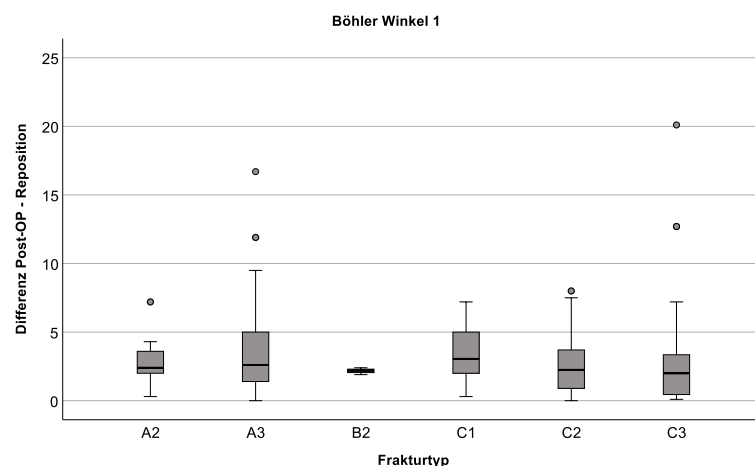


Abbildung 29 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,28, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

Differenz 1c: Postoperativ- posttraumatisch

Auch bei dieser beschriebenen Differenz sind eher geringe Unterschiede zu entnehmen. Der kleinste Median bei der Typ- „C1“-Fraktur liegt bei 3,8° und der größte bei der „C3“-Fraktur bei 5,7°(Abb.30).

Diese Beobachtung kann im Ingesamt-Test als signifikant ausgewiesen werden ($p=0,045$) und sogar der post-hoc Test zwischen „C2“ und „C3“ fällt signifikant aus ($p=0,041$), sodass der Unterschied zwischen diese beiden Frakturtypen (Median von C3 > Median C2) statistisch gesichert ist.

Die weiteren paarweisen Vergleiche überschreiten die Signifikanzgrenze ($p \geq 0,199$).

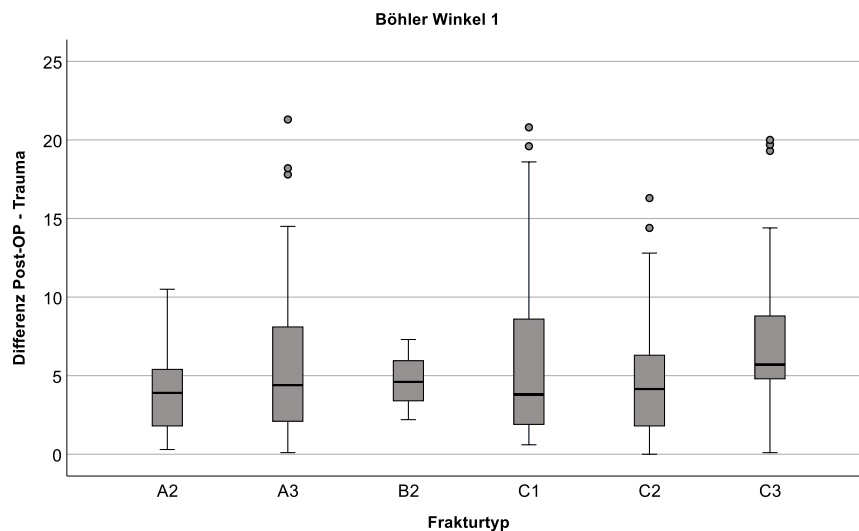


Abbildung 30 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz postoperativ- Trauma, Angaben in Grad), Anzahl; $n=208$, $p=0,045$, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

Böhler-Winkel 2:

Auch bei der palmaren Inklination finden sich innerhalb der Frakturtypen keine signifikanten Unterschiede bei den Differenzen der Winkel. Insgesamt nehmen die Mediane, wie bei den Frakturmechanismen schon gezeigt wurde, größere Werte an als bei der radioulnaren Inklination.

Die Beobachtungen bezüglich der Differenzen der Winkel (siehe Abb.31-33) werden in der ANOVA als nicht signifikant ausgewiesen (alle $p \geq 0,605$).

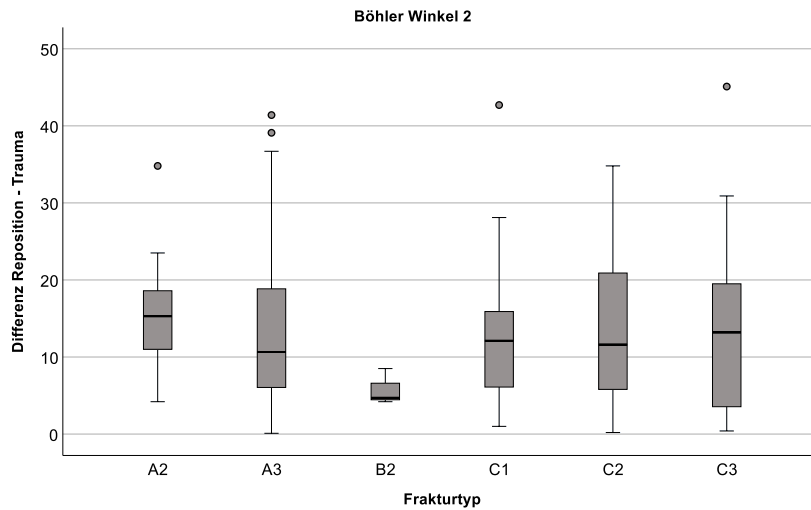


Abbildung 31 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Reposition- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,614, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

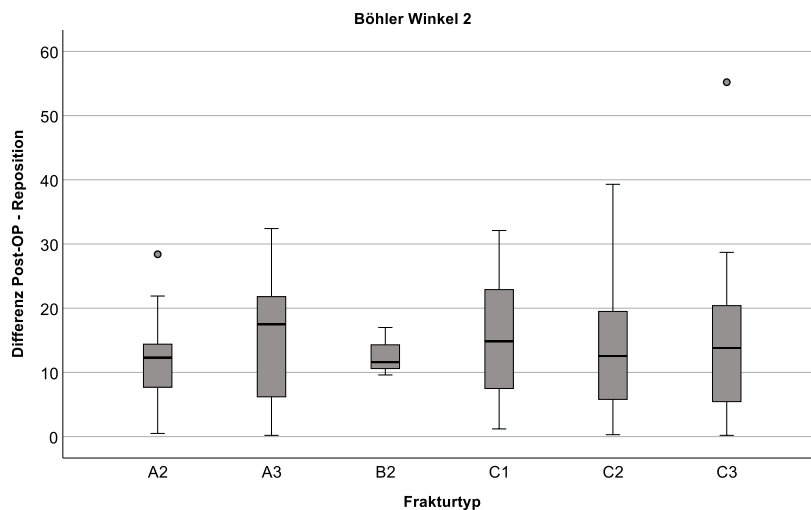


Abbildung 32 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,842, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

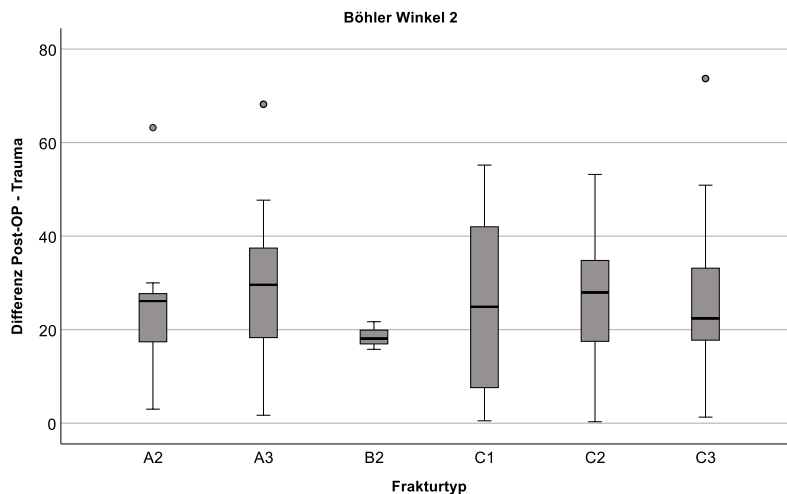


Abbildung 33 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,605, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019

4.2.3 Zielwerte der gesamten Patientenkohorte

Der Böhler-Winkel 1 liegt postoperativ bei ca. 81,2% der Frakturen im Zielbereich, der Böhler-Winkel 2 bei ca. 70,2%. Es zeigt sich also ein prozentualer Anteil von 11%, bei dem der Böhler 1 häufiger im Zielbereich liegt als der Böhler 2. Bei fast 60% der Frakturen befinden sich beide Winkel im Zielbereich (Abb.34).

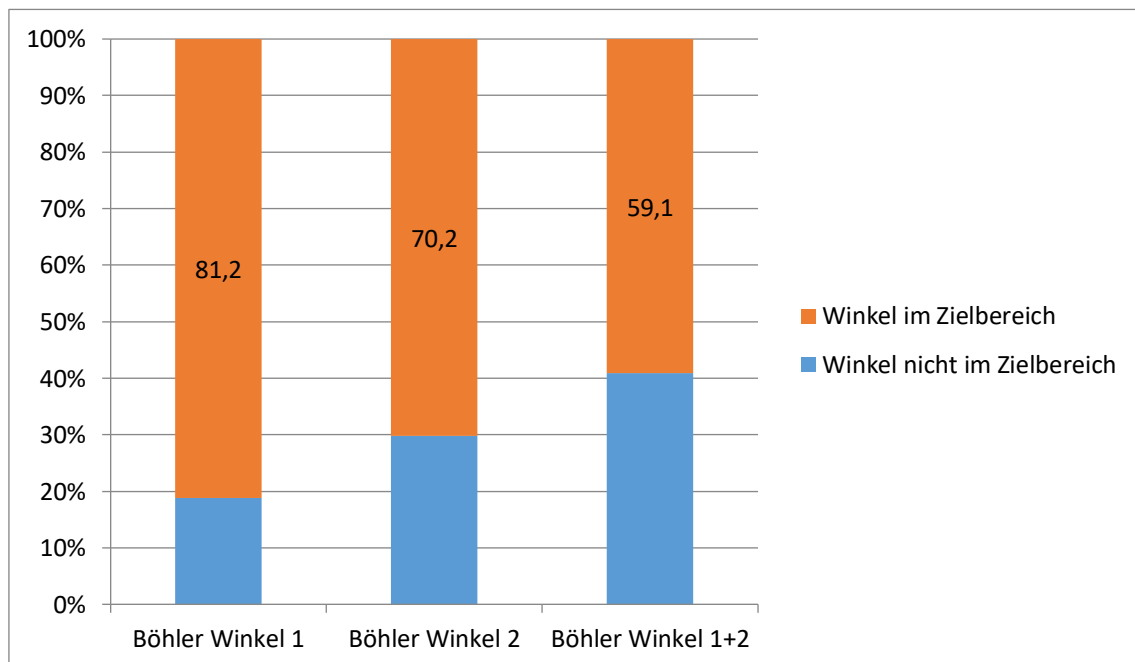


Abbildung 34 - Erreichen des Zielbereiches der Böhler-Winkel postoperativ (x- Achse= Böhler-Winkel, y-Achse=Winkel postoperativ im Zielbereich in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019)

5 Diskussion

Das primäre Ziel der vorliegenden Studie war es, die operative Versorgung nach distaler Radiusfraktur mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese und die Abhängigkeit des radiologischen Operationsergebnisses, gemessen an den Böhler-Winkeln, hinsichtlich Frakturmechanismus und Frakturtyp zu evaluieren. Hierbei wurden, wie im Kapitel 3.3 beschrieben, die distalen Radiusfrakturen in einen Frakturmechanismus sowie in einen Frakturtypen nach AO-Klassifizierung eingeteilt und anschließend die Böhler-Winkel ausgemessen. Im folgenden Kapitel wird daher auf das angewendete Klassifizierungssystem und die Messung der Böhler-Winkel kritisch eingegangen. Zudem werden die erhobenen Daten kritisch diskutiert und mit gängiger Literatur verglichen.

5.1 AO-Klassifikation und Böhler-Winkel

Trotz der hohen Prävalenz der distalen Radiusfraktur und ihrer Häufigkeit gibt es nach wie vor kontroverse Diskussionen über bestimmte Aspekte der richtigen Behandlung und Klassifizierung. Insbesondere die Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit einer präzisen Klassifizierung sowie die Definition einer angemessenen Reposition stehen im Mittelpunkt dieser Dissertation und bleiben diskussionswürdig.²⁹

Mehrere Studien, die die Intra- und Inter-Beobachter-Reliabilität der häufigsten Klassifizierungssysteme für distale Radiusfrakturen untersucht haben, ergaben eine nur geringfügige Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Systeme.^{29,43,44} Außerdem zweifelten Mulders et al. daran, dass diese Klassifizierungssysteme zu einer besseren Handhabung der Therapie sowie Prognosevorhersage geeignet sind. In ihrer eigenen Studie, stellte sich die AO-Klassifizierung als bevorzugte Klassifizierung heraus, jedoch gaben nur 50% der befragten Chirurgen an, dass die Therapie und Prognose durch dieses Klassifizierungssystem gesteuert sei.²⁹ Etwa ein Drittel der befragten Ärzte vertraten sogar die Ansicht, dass die AO-Klassifizierung weder für Therapie noch für Prognose entscheidend sei. Infolgedessen äußerten sie den Bedarf an einem Klassifizierungssystem, mit verbesserter Intra- und Inter-Observer-Zuverlässigkeit.²⁹

Im Gegensatz zu Mulders et al. beschreiben Plant, Hickson, Hedley, Parsons und Costa eine signifikante Intra-Observer-Zuverlässigkeit der AO-Klassifikation, welche vor allem die Unterteilung in die Frakturarten (A, B oder C) betrifft.⁴⁵ Bei der weiteren Spezifizierung in Gruppen und Untergruppen verliere diese jedoch die Qualität, da es in ihrer Studie zwischen den Beobachtern zu Meinungsverschiedenheiten kam.⁴⁵

Eine mögliche Überlegung zur Verbesserung der Klassifizierungsreliabilität besteht in der zusätzlich anwendbaren CT. Die Dreidimensionalität dieses diagnostischen Verfahrens bietet eine bessere Auflösung und ermöglicht anhand der überlagerungsfreien Schnittbilder präziser darstellbare Frakturlinien.²⁴ Wie aus verschiedenen Studien zu entnehmen, wird durch die CT alleine jedoch keine wesentliche Verbesserung der Intra- und Inter-Beobachter-Reliabilität erreicht.^{46,47} Eine gute Interobserver-Zuverlässigkeit kann durch die Kombination von CT und konventionellen Röntgenaufnahmen hinsichtlich der Beurteilbarkeit des Vorliegens einer intra- oder extraartikulären Fraktur ein gutes Niveau erreichen, verbessert die Interobserver-Zuverlässigkeit der AO-Klassifizierung aber ansonsten nicht entscheidend.⁴⁷ Zudem besteht nicht bei jedem Patienten mit einer distalen Radiusfraktur die Indikation für ein CT als diagnostisches Mittel, da die meisten distalen Radiusfrakturen durch die konventionellen Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen ausreichend beurteilt werden können, sodass ein Schnittbildverfahren keine Voraussetzung für eine Einteilung in ein Klassifizierungssystem sein sollte.²³

Wenn in dieser Studie ausschließlich distale Radiusfrakturen einbezogen worden wären, bei denen ein CT durchgeführt wurde, hätte dies zu einem Selektionsbias geführt. Dies liegt darin begründet, dass dieses diagnostische Verfahren, wie zuvor erwähnt, hauptsächlich bei Fällen mit Gelenkbeteiligung und komplexen Frakturen indiziert ist.^{23,24,27}

Darüber hinaus hebt sich die AO-Klassifikation in der Literatur trotz kritischer Betrachtungen und großer Auswahl an Klassifikationssystemen immer noch als das beliebteste Klassifizierungssystem für die distale Radiusfraktur hervor.^{7,23,30,34} Aus der Leitlinie der DGU lässt sich zudem entnehmen, dass die AO-Klassifizierung, gemessen an konventionellen Röntgenbildern im Vergleich zu den anderen Klassifikationen, die höchste Intra- und Interbeobachter- Reliabilität aufweist. Daher wird die AO-Klassifikation für diese Studie als das am besten geeignete Klassifizierungssystem betrachtet und ist auch in vergleichbaren Studien ein häufig angewendetes Klassifikationssystem.^{26,48–54}

Es wird jedoch deutlich, dass der Bedarf an einem Klassifizierungssystem besteht, das benutzerfreundlicher, zuverlässiger und aussagekräftiger ist, wie auch von Mulders et al. betont und durch die Literatur unterstützt wird.^{29,45,55,56}

In der vorliegenden Arbeit wurde die Beurteilung der Böhler-Winkel als Parameter für eine optimale Reposition festgelegt. Darüber hinaus gibt es jedoch weitere objektive Parameter, die zur Beurteilung des Therapieerfolgs herangezogen werden können. Laut Szermutzky, Frank und Marzi ist aber insbesondere die Inklinations des Radius, welche

durch die Böhler-Winkel beschrieben wird, entscheidend für die Kraftübertragung zwischen dem distalen Radius und den Handwurzelknochen und demnach maßgeblich für eine korrekte Reposition.⁹ Liegen größere Abweichungen der distalen Gelenkfläche von der Norm vor, kann die Funktion des Handgelenkes eingeschränkt sein, wobei vor allem die pathologische Neigung nach dorsal die Beweglichkeit behindern kann.^{9,25} Laut Winker und Rikli stellen neben der Verkipfung der Radiusbasis um mehr als 10°, ebenso Gelenkstufen über 1mm sowie ein Ulnavorschub von über 2mm Präarthrosen dar und sollten deswegen bei der Reposition beachtet und vermieden werden.¹⁴ Dementsprechend sollten bei der operativen Therapie der distalen Radiusfraktur neben der Wiederherstellung der Böhler-Winkel unbedingt auch eine mögliche Radiusverkürzung, Ulnavarianz und vorhandene Gelenkstufen behoben werden, da auch diese entscheidend für eine uneingeschränkte Funktion des Handgelenks sind und an der Entstehung einer Arthrose beteiligt sein können.^{14,25} In einer ähnlichen Studie, die die Korrelation zwischen radiologischen Befunden und klinischen Ergebnissen bei Patienten mit distaler Radiusfraktur und Versorgung mittels palmarer Plattenosteosynthese untersuchte, wurde die Reposition radiologisch anhand von Dorsalkippung, Böhler-Winkel, Ulnavarianz und Gelenkinkongruenz beurteilt.⁵² Auch in weiteren Studien, welche die klinischen und radiologischen Ergebnisse bei Versorgung mittels palmarer Plattenosteosynthese bei distaler Radiusfraktur untersuchten, nutzen die Radiuslänge, die Böhler-Winkel sowie die Ulnavarianz zur Beurteilung des postoperativen Ergebnisses.^{48–50} Ergänzende Studien belegen ebenfalls, dass unter Chirurgen eine umfassende Übereinstimmung darüber besteht, dass die Wiederherstellung der präoperativen Röntgenparameter von erheblicher Bedeutung ist.^{49,54,57–59} Laut Peruga, Guzzini, Civitenga, Guidi, Dominedo und Fontana sind dabei die Ulnavarianz und der Böhler-Winkel 2 die wichtigsten radiologischen Parameter, die wiederhergestellt werden müssen, um ein gutes funktionelles Ergebnis bei Frakturen des distalen Radius zu erzielen. In deren Studie hatten nur Patienten mit wiederhergestellter Palmarinklination und Ulnavarianz ein gutes funktionelles Ergebnis. Geringfügige Abweichungen hatten allerdings keinen Einfluss auf die Erzielung eines positiven funktionellen Ergebnisses.⁴⁹

Um eine klare Fokussierung sicherzustellen, wurde in der vorliegenden Studie die Beurteilung der Reposition bewusst auf die Untersuchung der Böhler-Winkel beschränkt. Andernfalls hätte die Studie an Übersichtlichkeit verloren. Für eine Folgeuntersuchung kann es jedoch sinnvoll sein, diese weiteren oben genannten Parameter bezüglich der Frakturmechanismen und Frakturtypen einzubeziehen.

Um mögliche Verzerrungen durch eine unzureichende Inter-Observer-Zuverlässigkeit zu verhindern, wurde die Klassifizierung der Frakturen sowie die Messungen der Böhler-

Winkel in der vorliegenden Studie ausschließlich von einer einzelnen Person durchgeführt. Um die Intra-Observer-Zuverlässigkeit zu erhöhen wurden die Böhler-Winkel mehrfach ausgemessen und der Durchschnittswert ausgewertet. Dennoch gab es verschiedene Einflussfaktoren, die zu einer erhöhten Intra-Observer-Variabilität beitrugen und nicht vollständig vermieden werden konnten. Einerseits variierten die Bildqualitäten aufgrund unterschiedlicher Röntgenaufnahmetechniken. Einige Aufnahmen umfassten den gesamten Radius, während andere nur einen Teil zeigten. Dies erschwerte die Bestimmung der Senkrechten zur Längsachse und führte zu einer höheren Variabilität. Andererseits hatte schon eine geringfügige Abweichung der Geraden zur Bestimmung der Böhler-Winkel (Senkrechte der Längsachse und Parallele der Gelenkfläche) einen anderen Winkel zur Folge. Diese gesteigerte Variabilität ist jedoch unvermeidlich, wenn es um die Auswertung der Böhler-Winkel geht.

Um einen selektiven Messfehler zu vermeiden, wurden zuerst die Böhler-Winkel ausgemessen, bevor die Frakturen in verschiedene Frakturtypen eingeteilt wurden. Bei der Klassifizierung der Frakturen in die unterschiedlichen Frakturtypen konnte eine erhöhte Intra-Observer-Variabilität nicht vermieden werden. Besonders herausfordernd war die Unterscheidung zwischen „A2“ und „A3“-Frakturen in den Röntgenaufnahmen und ohne verfügbare CT-Aufnahmen konnten Frakturlinien leicht übersehen werden.

Es war zudem zu berücksichtigen, dass eine mögliche Behandlungsungleichheit bestand, da das Operationsergebnis auch vom Operateur abhängig ist. Beispielsweise verfügt ein Oberarzt in der Regel über deutlich mehr Erfahrung bei der operativen Wiederherstellung der physiologischen Anatomie des distalen Handgelenks als ein Assistenzarzt, sodass eine Performance-Bias nicht ausgeschlossen werden konnte.

Durch die Begrenzung der Studie auf Patienten mit distaler Radiusfraktur, die operativ mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurden, konnte zudem ein gewisses Maß an Selektionsbias nicht vollständig vermieden werden. Dies resultiert daraus, dass insbesondere ältere weibliche Patienten aufgrund von Osteoporose eine erhöhte Anfälligkeit für distale Radiusfrakturen aufweisen und den zweiten Häufigkeitsgipfel bestimmen.^{4,5,19,23,60} Diese der Literatur zu entnehmenden Daten, lassen sich durch die vorliegende Studie bestätigen. In der untersuchten Patientengruppe waren 62% älter als 60 Jahre und das durchschnittliche Patientenalter zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme betrug 66 Jahre. Dies liegt leicht über dem Altersdurchschnitt der Unfallbeteiligten in vergleichbaren Studien. Wilson, Viner, Johal und Woodruff berichteten beispielsweise von einem Durchschnittsalter von 56,5 Jahren.⁵⁴ Während Meyer, Benavent, Chruscielski, Jannsen, Blazar und Earp ein Durchschnittsalter von 56,1 Jahren feststellten.⁶¹ In der Studie von Tarallo, Giorgini, Novi, Zambianchi, Porcellini und Catani zeigte sich ein Durchschnittsalter von 58

Jahren.⁵³ Des Weiteren bestand der Großteil, nämlich 81%, der Patienten in dieser Untersuchung aus weiblichen Probanden. Ein ähnliches Verhältnis zeigte die Studie von Palola, Ponkilainen, Huttunen, Launonen und Mattila mit 70,5% weiblichen Teilnehmern.⁶² Die betroffenen Patienten des ersten Altersgipfels, welcher wie oben erwähnt im Kindes/Jugendalter liegt, werden in der Regel mittels konventioneller Therapiemaßnahmen versorgt.^{27,30} Diese Tatsache spiegelt sich ebenfalls in den Ergebnissen dieser Studie wider, da lediglich drei Patienten im untersuchten Kollektiv jünger als 20 Jahre alt waren.

5.2 Frakturmechanismus

Der hohe Anteil der Extensionsfrakturen (88,5%) dieser Studie stimmt mit der Literatur überein, welche besagt, dass die Extensionsfraktur 90% der distalen Radiusfrakturen ausmacht. Dies liegt vor allem an der typischen reflektorischen Handgelenkshaltung bei Sturz, welche dazu führt, dass das distale Radiusfragment nach dorsal disloziert.^{3,7,19} Eine vergleichbare Studie, die den Einfluss des Frakturmechanismus bei erwachsenen Patienten mit operativ behandelten Colles- oder Smith-Frakturen in Bezug auf klinische und radiologische Ergebnisse untersuchte, ergab eine ähnliche Verteilung.⁶³ Es zeigten sich 83,7% Extensionsfrakturen und 16,3% Flexionsfrakturen.⁶³ Die Studie von Zhang, Chi, Liu, Gong, Yu und Tang verglich die Frakturmechanismen der distalen Radiusfraktur bezüglich der therapeutischen Wirkung der palmaren Plattenosteosynthese. Hierbei manifestierten sich im Gegensatz zur Literatur und der vorliegenden Studie nur 66% Extensionsfrakturen und 33% Flexionsfrakturen.⁶⁴

Beim Vergleich der Zielbereiche der Böhler-Winkel ließ sich in dieser Untersuchung feststellen, dass die Flexionsfrakturen besser zu reponieren waren, da diese postoperativ deutlich häufiger im festgelegten Zielbereich lagen. Bei 92% der Flexionsfrakturen lagen beide Winkel postoperativ im Zielbereich, wohingegen nur bei 55% der Extensionsfrakturen beide Winkel im Zielbereich lagen ($p=0,000$). Der Böhler-Winkel 2 konnte sogar bei 95,8% der Flexionsfrakturen wiederhergestellt werden, während lediglich 66,8% der Extensionsfrakturen eine palmar gerichtete Inklinations im vordefinierten Zielbereich aufwiesen ($p=0,002$). In den vergleichbaren Studien zeigte sich postoperativ ebenfalls eine signifikant bessere palmar Inklinations bei den Flexionsfrakturen.^{63,64} Auch Kopeć, Kwiatkowski, Piekarczyk, Chwedczuk und Golo konnten in ihrer Studie einen signifikanten Unterschied bezüglich der besseren Wiederherstellung des Böhler-Winkel 2 mittels winkelstabiler Platte feststellen und schlussfolgerten, dass es bei Frakturen mit Dorsalverschiebung der Fragmente schwieriger ist, die palmar Inklinations über einen palmaren Zugang

wiederherzustellen.⁶⁵ In beiden Studien ergab die Analyse hinsichtlich des Böhler-Winkels 1 ebenfalls keine signifikanten Ergebnisse ($p>0,05$).^{64,65} Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Studien zur abschließenden Sicherung der Ergebnisse hinsichtlich des Böhler-Winkel 1.

Ein möglicher Grund für die bessere Reponierbarkeit der Flexionsfrakturen mittels palmarer Plattenosteosynthese ist die Verwendung des palmaren Zugangs, welcher eine bessere visuelle Kontrolle des Frakturfragmentes bei Flexionsfraktur und somit auch eine genauere Reposition ermöglicht.⁶⁵ Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass bei Frakturen mit dorsal disloziertem Frakturfragment die offene Reposition mittels dorsalem Zugang aufgrund einer besseren Visualisierung der Gelenkfläche und der Platzierung eines dorsalen Stützpfilers einfacher sein und möglicherweise zu besseren radiologischen Ergebnisse der radialen und palmaren Inklinatation führen könnte.^{66–68} Aufgrund der höheren Komplikationsrate der traditionellen dorsalen Platte, insbesondere bezüglich der Strecksehnenverletzungen, hat sich die palmare Plattenosteosynthese trotz dessen auch bei dorsalem Frakturfragment in den letzten Jahren als bevorzugter Zugangsweg durchgesetzt.^{68–72} Des Weiteren führte gemäß den Erkenntnissen von Kopeć et al. die theoretisch effektivere Reposition von Flexionsfrakturen nicht zu einem verbesserten langfristigen klinischen Behandlungsergebnis.⁶⁵ Auch Zhang et al. stellten trotz besserem radiologischen Ergebnis der palmaren Inklinatation bei Flexionsfrakturen keinen signifikanten Unterschied in der langfristigen Handgelenksfunktion und dem Auftreten von postoperativen Komplikationen in Abhängigkeit von dem Frakturmechanismus fest.⁶⁴

Dementsprechend stellt sich die Frage, ob die ungünstigeren postoperativen Resultate des Böhler-Winkels bei Extensionsfrakturen überhaupt von klinischer Relevanz sind. Eine möglicher Ansatz zur Verbesserung der Werte bei Extensionsfrakturen könnte die dorsale Verplattung mittels modernem dorsalem Plattenimplantat sein, welches sich durch seine innovative Gestaltung und reduzierte Dicke auszeichnet und dementsprechend potenziell das Risiko von Sehnenverklebungen mindern kann.⁶³ Trotzdem betonen auch Erhart, Toth, Kaiser, Kastenberger, Deml und Arora, dass die positiven klinischen Befunde ihrer Studie nach palmarer Plattenosteosynthese darauf hindeuten, dass eine zusätzliche dorsale Verplattung bei Extensionsfrakturen nicht zwingend erforderlich ist.⁶³

Beim Vergleich der Differenzen des Böhler-Winkel 1 fanden sich bei den Flexionsfrakturen nur geringfügig größere Werte, welche aber auch nur einige Grade betragen. Das bedeutet, dass die radioulnare Gelenkneigung sowohl von Trauma zu Reposition, als auch von Reposition zu postoperativ nur geringfügig korrigiert wurde, was in den meisten Fällen für eine geringere Dislokation dieses Winkels spricht.

Insgesamt wurde jedoch kein bedeutender Unterschied zwischen den Frakturmechanismen festgestellt. Hierbei konnte lediglich bei der Korrektur von präoperativem Böhler-Winkel 1 zu postoperativem Böhler-Winkel 1 eine Signifikanz festgestellt werden ($p=0,042$).

Dagegen lassen sich beim Böhler-Winkel 2 größere Unterschiede zwischen dem Frakturmechanismus erkennen. Hier zeigen sich größere Werte bei den Extensionsfrakturen, was darauf schließen lässt, dass bei diesen Frakturen die palmare Inklination betreffend stärkere Dislokationen als bei den Flexionsfrakturen entstehen, sodass diese folglich auch stärker korrigiert werden müssen. Die palmare Inklination wurde bei den Extensionsfrakturen durch die Reposition mittels Aushängen im Durchschnitt um $11,9^\circ$ korrigiert und anschließend durch die operative Reposition im Durchschnitt um $14,7^\circ$. Das heißt, dass trotz der bereits deutlichen Korrektur des Winkels nach Aushängen postoperativ immer noch eine signifikante Korrektur um mehrere Grade erforderlich war. Bei den Flexionsfrakturen erfolgte im Mittel nur eine Korrektur um wenige Grade (posttraumatisch zu präoperativ: $5,4^\circ$; präoperativ zu postoperativ: $3,7^\circ$). Diese Korrelation hinsichtlich der Frakturmechanismen und den Differenzen des Böhler-Winkel 2 konnten signifikant gesichert werden ($p=0,005$; $p=0,000$, $p=0,000$). Bei der umfassenden Überprüfung der Literatur zu diesem Thema lässt sich feststellen, dass bislang keine vergleichbaren Studien existieren, die sich spezifisch mit den Differenzen der Böhler-Winkel bei distaler Radiusfraktur befassen.

5.3 Frakturtyp

Die 208 untersuchten distalen Radiusfrakturen setzen sich zu 35,1% aus nicht-artikulären Typ „A“-Frakturen, zu 1,9% aus Typ „B“-Frakturen und zu 63% aus intraartikulärem Typ „C“-Frakturen zusammen. Durch das Einschlusskriterium der operativen Behandlung mittels palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese, wurden einige Frakturtypen bereits selektiert. Es fanden sich weder Typ „A1“- noch Typ „B1“-Frakturen was darauf zurückzuführen ist, dass insbesondere die Typ „A1“-Frakturen bevorzugt mittels konservativer Therapie und die „B1“-Frakturen bevorzugt mittels Schraubenosteosynthese versorgt werden.^{19,23,35} Eine vergleichbare Studie, in der die funktionellen und radiologischen Ergebnisse der distalen Radiusfrakturen mittels palmarer Plattenosteosynthese untersucht wurden, ergaben 23,5% „A“-Frakturen, 24,1% „B“-Frakturen und 52,4% „C“-Frakturen.⁴⁸ Die Untersuchung von Musgrave und Ilder analysierte Extensionsfrakturen, welche mittels palmarer Platte versorgt wurden und zeigte eine ähnliche Verteilung. Hier zeigten sich 34,4% extraartikuläre „A“-

Frakturen und 65,6% intraartikuläre Typ „C“ -Frakturen. Es lagen keine partiell intraartikulären „B“- Frakturen vor.⁷³

Betrachtet man nun die dargestellte Frakturverteilung, lässt sich feststellen, ob die Komplexität der Fraktur einen Einfluss auf die korrekte Wiederherstellung der Böhler-Winkel hat. Hierbei fällt auf, dass die „A2“-Fraktur bei beiden Winkeln am unzureichendsten korrigiert werden konnte, da bei nur ca. 22% der Typ „A2“- Frakturen beide Winkel im Zielbereich lagen. Die „B“-Frakturen wurden mitausgewertet und zeigten die am besten zu korrigierenden Frakturen, wobei durch die geringe Anzahl dieser Frakturen in der vorliegenden Studie eine eingeschränkte Aussagekraft angemerkt werden muss. Bei den weiteren untersuchten Frakturtypen lassen sich keine eindeutigen Unterschiede erkennen. Diese Beobachtungen überschritten in der statistischen Analyse alle das Signifikanzniveau und zeigten somit keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Frakturtyp und Wiederherstellung der Böhler-Winkel (Böhler-Winkel 1 postoperativ im Zielbereich: $p=0,062$, Böhler-Winkel 2 postoperativ im Zielbereich: $p=0,879$, Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ im Zielbereich: $p=0,249$). Dementsprechend bedarf es weiterer Untersuchungen, um die Thematik umfassender zu erforschen.

Beim Vergleich der Differenzen des Böhler-Winkel 1 zeigten sich bei den Frakturtypen keine wesentlichen Unterschiede, was bedeutet, dass ähnliche Korrekturwerte vorlagen. Ausschließlich bei der Differenz von postoperativ zu posttraumatisch lässt sich im Gesamttest ($p=0,045$) und ebenso auch im post-hoc Test zwischen „C2“ und „C3“ eine Signifikanz feststellen ($p=0,041$). Dies deutet darauf hin, dass die Korrekturwerte des radioulnaren Inklination zwischen „C2“ und „C3“ nur geringfügig variieren, jedoch bei der insgesamt komplexeren „C3“-Fraktur eine etwas stärkere Korrektur erfolgt ist im Vergleich zur „C2“-Fraktur. Die weiteren Vergleiche zwischen den Frakturtypen lassen sich statistisch nicht bestätigen. Auch wenn beispielsweise die Unterschiede zwischen den Frakturtypen in der ANOVA als signifikant ausgewiesen werden (Böhler-Winkel 1/ Differenz posttraumatisch- Reposition: $p=0,02$), erreicht keiner der paarweisen Vergleiche die Signifikanzgrenze (Böhler-Winkel 1/Differenz Böhler-Winkel posttraumatisch- Reposition: alle $p \geq 0,059$). Dies erscheint unstimmig, ist jedoch in der Statistik nicht ungewöhnlich. Hier werden die Unterschiede lediglich angedeutet, eine weitere Forschung ist aber notwendig. Zudem konnte keine signifikante Korrelation zwischen Frakturtyp und den Korrekturwerten des Böhler-Winkel 2 festgestellt werden ($p \geq 0,605$).

In der Studie von Quadlbauer, Pezzei, Jurkowitsch, Rosenauer, Pichler und Schättin erfolgte eine radiologische Analyse des Repositionsverlusts bei Radiusfrakturen nach 20 Monaten unter Verwendung der Böhler-Winkel als Parameter. Dabei konnten keine

signifikanten Unterschiede zwischen den Frakturtypen (AO-Typ „A“ vs. „B“ vs. „C“) in Bezug auf den Verlust der Reposition in der palmaren Inklinatation ($p=0,47$) und der radialen Inklinatation ($p=0,66$) festgestellt werden.⁵² In der Studie von Wilson, Viner, Johal und Woodruff ergab sich hingegen ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer „C3“-Fraktur und einer schlechteren radiologischen Darstellung im postoperativen Verlauf ($p= 0.005$).⁵⁴ Der konkrete Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Frakturtypen und der Wiederherstellung der Böhler-Winkel wird in der vorhandenen Literatur nur begrenzt behandelt, was das Fehlen weiterer vergleichbarer Studien zu diesem Thema erklärt. Es wäre daher wünschenswert, dass künftige Studien verstärkt darauf abzielen, diese Verbindung genauer zu untersuchen.

5.4 Zielwert

Postoperativ befindet sich der Böhler-Winkel 1 bei etwa 81,2% der Frakturen im Zielbereich, während der Böhler-Winkel 2 bei etwa 70,2% liegt. Abweichende Ergebnisse zeigten sich in einer Studie, welche die klinischen und radiologischen Ergebnisse bei der Verwendung von unterschiedlichen palmaren Verriegelungsplatten zur Behandlung von distalen Radiusfrakturen bewertete. In der Gruppe mit einer palmaren Verriegelungsplatte auf Basis von Polyetheretherketon (PEEK) Polymer wurde bei 74,5 % der Patienten eine normale Radiusneigung (21° - 25°) und bei 90,2% der Patienten eine normale palmare Neigung (7° - 15°) festgestellt. In der Gruppe mit palmarer Titan Verriegelungsplatte zeigte sich bei 73% eine normale Radiusneigung und bei 91,3% eine normale palmare Neigung.⁵⁰ Eine ähnliche Studie mit denselben Zielbereichen, bei der ebenfalls distale Radiusfrakturen mittels palmarer Plattenosteosynthese behandelt wurden, führte zu ähnlichen Ergebnissen. Bei 74,5% der Patienten wurde die normale Radiusneigung (21 - 25°) erfolgreich wiederhergestellt, während bei 90,2 % der Patienten eine normale volare Neigung (7 - 15°) erreicht wurde.⁴⁹ Diese von der vorliegenden Studie abweichenden Ergebnisse insbesondere im Bereich der palmaren Inklinatation lassen sich jedoch auf die abweichenden Zielbereiche (Böhler-Winkel 1: 21° - 25° ; Böhler- Winkel 2: 7° - 15°) zurückführen, bei denen insbesondere die palmare Inklinatation eine um 3° größere Spanne und die radioulnare Inklinatation eine um 1 Grad kleinere Spanne aufweisen.

Insgesamt lässt sich in dieser Studie, bei präziser Zielsetzung, eine zufriedenstellende Rekonstruktion der Böhler-Winkel konstatieren.

5.5 Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung stützt die aufgestellte Hypothese, dass das Repositionsergebnis in Abhängigkeit vom Frakturmechanismus variiert. Insbesondere

zeigte sich, dass Flexionsfrakturen tendenziell bessere postoperative radiologische Ergebnisse aufwiesen und signifikant geringfügigere Korrekturen erforderlich waren. Die klinische Relevanz der ungünstigeren postoperativen Böhler-Winkel-Ergebnisse bei Extensionsfrakturen bleibt jedoch diskutabel, da Studien darauf hinweisen, dass die langfristigen klinischen Ergebnisse dieser Frakturen trotz variierender radiologischer Parameter vergleichbar sind.

Im Gegensatz dazu konnte hinsichtlich des Frakturtyps keine klare Abhängigkeit festgestellt werden, die signifikant abgesichert werden konnte. Es wird lediglich angedeutet, dass insgesamt keine deutlichen Unterschiede zwischen den Frakturtypen vorliegen.

Vor dem Hintergrund der vielschichtigen Zusammenhänge zwischen Frakturmechanismus, Frakturtyp und Repositionsergebnis wird die Notwendigkeit betont, weiterer Studien durchzuführen, um insbesondere die Zusammenhänge zwischen Frakturtyp und dem Repositionsergebnis genauer zu beleuchten und möglicherweise differenzierte chirurgische Ansätze für die Behandlung distaler Radiusfrakturen zu entwickeln.

6 Literaturverzeichnis

1. Brogren E, Petranek M, Atroshi I. Incidence and characteristics of distal radius fractures in a southern Swedish region. *BMC Musculoskelet Disord*. 31. Mai 2007;8:48.
2. FJ Seibert, Giessau C, Sagmeister-Skrabal E, Sampl E, Dobnig H, Fahrleitner-Pammer A. Die Radiusfraktur als unerkannte Erstmanifestation der Osteoporose [Internet]. *Journal für Mineralstoffwechsel*; 2012 [zitiert 5. April 2020]. Verfügbar unter: <https://www.kup.at/kup/pdf/10936.pdf>
3. Grifka J, Krämer J. *Orthopädie, Unfallchirurgie*. 9., überarbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer; 2013. S. 274-5.
4. Court-Brown CM, Caesar B. Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*. August 2006;37(8):691–7.
5. Hentsch S, Thormann; U. Distale Radiusfraktur- Pschyrembel Online [Internet]. 2021 [zitiert 27. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://www.pschyrembel.de/Distale%20Radiusfraktur/K0JCL>
6. Baierlein SA. *Frakturklassifikationen*. Stuttgart: Thieme; 2010. S. 44-50.
7. Schmidt S, Heinz T, Dàvid A. Häufigkeit, Entstehung und Klassifikation der distalen Radiusfraktur. *OP-J*. April 2003;19(1):10–5.
8. Leixnering M, Rosenauer R, Pezzei Ch, Jurkowitsch J, Beer T, Keuchel T, u. a. Indications, surgical approach, reduction, and stabilization techniques of distal radius fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. Mai 2020;140(5):611–21.
9. Szermutzky M, Frank J, Marzi I. Anatomie des distalen Radius. *OP-J*. 5. März 2013;28(03):224–7.
10. Rikli D, Babst R, Jupiter J. Distale Radiusfraktur: neue Konzepte als Basis für die operative Therapie. *Handchir-Mikrochir-Plast Chir*. Februar 2007;39(1):2–8.
11. Rundgren J, Bojan A, Mellstrand Navarro C, Enocson A. Epidemiology, classification, treatment and mortality of distal radius fractures in adults: an observational study of 23,394 fractures from the national Swedish fracture register. *BMC Musculoskelet Disord*. 8. Februar 2020;21(1):88.
12. Toon DH, Premchand RAX, Sim J, Vaikunthan R. Outcomes and financial implications of intra-articular distal radius fractures: a comparative study of open reduction internal fixation (ORIF) with volar locking plates versus nonoperative management. *J Orthop Traumatol*. September 2017;18(3):229–34.
13. Zengin EC, Ozcan C, Aslan C, Bulut T, Sener M. Cast immobilization versus volar locking plate fixation of AO type C distal radial fractures in patients aged 60 years and older. *Acta Orthop Traumatol Turc*. Januar 2019;53(1):15–8.
14. Winker K, Rikli D. Die distale Radiusfraktur: Behandlungsstrategie beim Erwachsenen. *OP-J*. 5. März 2013;28(03):252–5.

15. Hove LM, Herausgeber. Distal radius fractures: current concepts. Berlin, Heidelberg: Springer; 2014. S. 11-31, 37-45.
16. Hirt B, Seyhan H, Wagner M, Zumhasch R, Herausgeber. Anatomie und Biomechanik der Hand [Internet]. 3. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 22-23; 2015 [zitiert 10. Juni 2023]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-101341>
17. Faller A, Schünke M, Schünke G. Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion ; [4 Poster mit Übersichten ; Skelett, Gefäße, Nerven, Muskeln]. 16., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2012. S. 167, 175-7.
18. Platzer W, Spitzer G, Platzer W. Bewegungsapparat [Taschenatlas Anatomie]. 11., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2013. S. 130-5.
19. Steinbrich W, Babst R, Herausgeber. Frakturen und Luxationen: 15 Tabellen. Kart. Weiterbildungs-Ausg. Stuttgart: Thieme; 1999. S. 7,8 ,128-36.
20. Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 2031 Illustrationen, 182 Tabellen. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2011. S. 250-78.
21. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Gelenkflächen des distalen Radius, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 21:31] [Internet]. Verfügbar unter: <https://next.amboss.com/de/article/O30lif?q=radius>
22. Rikli DA, Regazzoni P. fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function: a preliminary report of 20 cases. J Bone Joint Surg Br. Juli 1996;78-B(4):588–92.
23. Wichelhaus A, Gradl G, Mittlmeier T. Die distale Radiusfraktur. Orthop Unfallchirurgie Up2date. 26. September 2012;7(04):251–71.
24. Bohndorf K. Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke. Stuttgart: Thieme; 1998. S. 4-7, 84-8.
25. Schwarz N. Die distale Radiusfraktur - Konservative Behandlung. OP-J. April 2003;19(1):16–20.
26. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU). Leitlinien Unfallchirurgie DGU Leitlinien Kommission Berlin 2021 AWMF-Nr. 012-015 ICD-10 S52.50 Novellierung der S2e-Version 2015. 2021 [zitiert 2. Juli 2022]. Leitlinie Distale Radiusfraktur des Erwachsenen. Verfügbar unter: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-015l_S2e_Distale_Radiusfraktur_2021-11_02.pdf
27. Breusch SJ, Clarius M, Mau H, Sabo D. Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie:22-28, 51-53, 310-320 [Internet]. 2020 [zitiert 28. März 2020]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9783437224751>
28. Wilcke MKT, Hammarberg H, Adolphson PY. Epidemiology and changed surgical treatment methods for fractures of the distal radius: A registry analysis of 42,583 patients in Stockholm County, Sweden, 2004–2010. Acta Orthop. Juni 2013;84(3):292–6.
29. Mulders MAM, Rikli D, Goslings JC, Schep NWL. Classification and treatment of distal radius fractures: a survey among orthopaedic trauma surgeons and residents. Eur J Trauma Emerg Surg. April 2017;43(2):239–48.

30. Ruchholtz S, Berdel P, Herausgeber. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials: Intensivkurs zur Weiterbildung; 104 Tabellen; [sicher durch die Facharztprüfung 2012]. Stuttgart: Thieme; 2010. S. 69-70, 360-4.
31. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Colles-Fraktur, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 20:31] [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.amboss.com/de/wissen/distale-radiusfraktur/>
32. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Smith-Fraktur, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 20:04] [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.amboss.com/de/wissen/distale-radiusfraktur/>
33. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Barton-Fraktur, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 20:31] [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.amboss.com/de/wissen/distale-radiusfraktur/>
34. Towfigh H, Herausgeber. Frakturen und Luxationen der Hand. Handchir Towfigh - 1 Aufl - 2011 7. 2014;295–376.
35. Schubert M, Dávid A. Diagnostik und Klassifikation der distalen Radiusfraktur - Die Grundlage der Behandlungsstrategie. OP-J. 5. März 2013;28(03):228–33.
36. Meinberg E, Agel J, Roberts C, Karam M, Kellam J. Fracture and Dislocation Classification Compendium—2018. J Orthop Trauma. Januar 2018;32(1):1–10.
37. Amboss GmbH. Name der Abbildung: AO-Klassifikation der distalen Radiusfraktur, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 20:46] [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.amboss.com/de/wissen/distale-radiusfraktur>
38. Rudolph H, Schmidt-Horlohe K, Pichl J, Hoffmann R. Distale Radiusfraktur – 20 Jahre winkelstabile Osteosynthese. OP-J. 3. Dezember 2012;28(02):148–59.
39. Claes L. Das Prinzip der winkelstabilen Platte - eine kritische Bewertung. Orthop Unfallchirurgie Up2date. Februar 2011;6(01):1–16.
40. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Operative Therapie der distalen Radiusfraktur: Palmare Plattenosteosynthese, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 14.11.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 21:46] [Internet]. Verfügbar unter: <https://next.amboss.com/de/article/O30Iif?q=operative+therapie+der+distalen+radiusfraktur+palmare#rolfW30>
41. Amboss GmbH. Name der Abbildung: Operative Therapie der distalen Radiusfraktur: Dorsale Plattenosteosynthese, Kapitel: Distale Radiusfraktur. [Kapitel zuletzt aktualisiert am 15.10.2024; Kapitel zitiert am 09.12.2024 um 22:04] [Internet]. Verfügbar unter: <https://next.amboss.com/de/article/O30Iif?q=distale+radiusfraktur>
42. Wirth CJ, Herausgeber. Praxis der Orthopädie. 2: Operative Orthopädie / hrsg. von Carl Joachim Wirth. Bearb. von R. Bauer. 3., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2001. S. 92.
43. Andersen DJ, Blair WF, Stevers CM, Adams BD, El-Khoury GY, Brandser EA. Classification of distal radius fractures: An analysis of interobserver reliability and intraobserver reproducibility. J Hand Surg. Juli 1996;21(4):574–82.

44. Ploegmakers JJW, Mader K, Pennig D, Verheyen CCPM. Four distal radial fracture classification systems tested amongst a large panel of Dutch trauma surgeons. *Injury*. November 2007;38(11):1268–72.
45. Plant CE, Hickson C, Hedley H, Parsons NR, Costa ML. Is it time to revisit the AO classification of fractures of the distal radius?: Inter- and intra-observer reliability of the AO classification. *Bone Jt J*. Juni 2015;97-B(6):818–23.
46. Arealis G, Galanopoulos I, Nikolaou VS, Lacon A, Ashwood N, Kitsis C. Does the CT improve inter- and intra-observer agreement for the AO, Fernandez and Universal classification systems for distal radius fractures? *Injury*. Oktober 2014;45(10):1579–84.
47. Flinkkilä T, Nikkola-Sihto A, Kaarela O, Pääkkö E, Raatikainen T. Poor interobserver reliability of AO classification of fractures of the distal radius: Additional computed tomography is of minor value. *J Bone Joint Surg Br*. Juli 1998;80-B(4):670–2.
48. García-Cepeda I, Aguado-Maestro I, De Blas-Sanz I, Quintanilla-García A, García-Alonso M. Radiological results of surgical management of fracture of the distal radius treated with volar locking plates. *Injury*. April 2020;51:42–7.
49. Perugia D, Guzzini M, Civitenga C, Guidi M, Dominedò C, Fontana D, u. a. Is it really necessary to restore radial anatomic parameters after distal radius fractures? *Injury*. Dezember 2014;45:21–6.
50. Perugia D, Guzzini M, Mazza D, Iorio C, Civitenga C, Ferretti A. Comparison between Carbon-Peek volar locking plates and titanium volar locking plates in the treatment of distal radius fractures. *Injury*. Oktober 2017;48:24–9.
51. Quadlbauer S, Pezzeri Ch, Jurkowitsch J, Rosenauer R, Pichler A, Schättin S, u. a. Early complications and radiological outcome after distal radius fractures stabilized by volar angular stable locking plate. *Arch Orthop Trauma Surg*. Dezember 2018;138(12):1773–82.
52. Quadlbauer S, Pezzeri Ch, Jurkowitsch J, Rosenauer R, Pichler A, Schättin S, u. a. Functional and radiological outcome of distal radius fractures stabilized by volar-locking plate with a minimum follow-up of 1 year. *Arch Orthop Trauma Surg*. Juni 2020;140(6):843–52.
53. Tarallo L, Giorgini A, Novi M, Zambianchi F, Porcellini G, Catani F. Volar PEEK plate for distal radius fracture: analysis of adverse events. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. Oktober 2020;30(7):1293–8.
54. Wilson J, Viner JJ, Johal KS, Woodruff MJ. Volar Locking Plate Fixations for Displaced Distal Radius Fractures: An Evaluation of Complications and Radiographic Outcomes. *HAND*. Juli 2018;13(4):466–72.
55. Belloti JC, Tamaoki MJS, Franciozi CE da S, Santos JBG dos, Balbachevsky D, Chap EC, u. a. Are distal radius fracture classifications reproducible? Intra and interobserver agreement. *Sao Paulo Med J*. Mai 2008;126(3):180–5.
56. Kural C, Sungur I, Kaya I, Ugras A, Ertürk A, Cetinus E. Evaluation of the Reliability of Classification Systems Used for Distal Radius Fractures. *Orthopedics*. 2. November 2010;33(11):1–5.
57. Batra S, Gupta A. The effect of fracture-related factors on the functional outcome at 1 year in distal radius fractures. *Injury*. Juli 2002;33(6):499–502.
58. Mann FA, Wilson AJ, Gilula LA. Radiographic evaluation of the wrist: what does the hand surgeon want to know? *Radiology*. Juli 1992;184(1):15–24.

59. McQueen M, Caspers J. Colles fracture: does the anatomical result affect the final function? *J Bone Joint Surg Br.* August 1988;70-B(4):649–51.
60. Solvang HW, Nordheggen RA, Clementsen S, Hammer OL, Randsborg PH. Epidemiology of distal radius fracture in Akershus, Norway, in 2010–2011. *J Orthop Surg.* Dezember 2018;13(1):199.
61. Meyer MA, Benavent KA, Chruscielski CM, Janssen SJ, Blazar PE, Earp BE. The Impact of the Soong Index on Hardware Removal and Overall Reoperation Rates After Volar Locking Plate Fixation of Distal Radius Fractures. *J Hand Surg.* Juni 2022;47(6):584.e1-584.e9.
62. Palola V, Ponkilainen V, Huttunen T, Launonen A, Mattila VM. Incidence for volar locking plate removal following distal radius fracture surgery. *Arch Orthop Trauma Surg.* August 2021;141(8):1297–302.
63. Erhart S, Toth S, Kaiser P, Kastenberger T, Deml C, Arora R. Comparison of volarly and dorsally displaced distal radius fracture treated by volar locking plate fixation. *Arch Orthop Trauma Surg.* Juni 2018;138(6):879–85.
64. Zhang LY, Chi YJ, Liu FX, Gong WH, Yu C, Tang J, u. a. Comparison of surgical effects between extension and flexion type of distal radius fracture. *Zhongguo Gu Shang China J Orthop Traumatol.* 25. Februar 2021;34(2):101–7.
65. Kopeć G, Kwiatkowski K, Piekarczyk P, Chwedczuk B, Gołos J. Comparative Assessment of Outcomes of Surgical Treatment of Smith and Colles Distal Radius Fractures. *Ortop Traumatol Rehabil.* 27. Februar 2018;20(1):15–23.
66. Kamath AF, Zurakowski D, Day CS. Low-Profile Dorsal Plating for Dorsally Angulated Distal Radius Fractures: An Outcomes Study. *J Hand Surg.* September 2006;31(7):1061–7.
67. Simic PM, Robison J, Gardner MJ, Gelberman RH, Weiland AJ, Boyer MI. Treatment of Distal Radius Fractures With a Low-Profile Dorsal Plating System: An Outcomes Assessment. *J Hand Surg.* März 2006;31(3):382–6.
68. Yu YR, Makhni MC, Tabrizi S, Rozental TD, Mundanthanam G, Day CS. Complications of Low-Profile Dorsal Versus Volar Locking Plates in the Distal Radius: A Comparative Study. *J Hand Surg.* Juli 2011;36(7):1135–41.
69. Ahmed M, Ahmed N, Kumar S, Kumar M, Bux M, Hussain G. Functional Outcome of Intraarticular Fracture of Distal Radius Managed by Volar Locking Plate. *Cureus [Internet].* 31. Oktober 2020 [zitiert 8. Januar 2024]; Verfügbar unter: <https://www.cureus.com/articles/44908-functional-outcome-of-intraarticular-fracture-of-distal-radius-managed-by-volar-locking-plate>
70. Orbay JL, Fernandez DL. Volar fixation for dorsally displaced fractures of the distal radius: A preliminary report. *J Hand Surg.* März 2002;27(2):205–15.
71. Rein S, Schikore H, Schneiders W, Amlang M, Zwipp H. Results of Dorsal or Volar Plate Fixation of AO Type C3 Distal Radius Fractures: A Retrospective Study. *J Hand Surg.* September 2007;32(7):954–61.
72. Ring D, Jupiter JB, Brennwald J, Büchler U, Hastings H. Prospective multicenter trial of a plate for dorsal fixation of distal radius fractures. *J Hand Surg.* September 1997;22(5):777–84.
73. Musgrave DS, Idler RS. Volar Fixation of Dorsally Displaced Distal Radius Fractures Using the 2.4-mm Locking Compression Plates. *J Hand Surg.* Juli 2005;30(4):743–9.

7 Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Proximales und distales Handgelenk sowie distales Radioulnargelenk. Quelle: Eigene Darstellung	11
Abbildung 2 – Gelenkflächen des distalen Radius. Anatomische Darstellung von distal (1) und dorso-ulnar (2) ²¹	13
Abbildung 3 - Drei-Säulen-Modell nach Rikli et al. (2003). Quelle: Eigene Darstellung	17
Abbildung 4 - Bestimmung der Böhler-Winkel 1 (radioulnare Inklinatation) im a.p. Strahlengang. Der Böhler-Winkel 1 (UI) wird durch Parallele zur Gelenkfläche (A) und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (B) gebildet. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013) ⁹	18
Abbildung 5 - Bestimmung Böhler-Winkel 2 (palmare Inklinatation) im lateralen Strahlengang. Der Böhler-Winkel 2 (PI) wird durch die Parallele zur Gelenkfläche (A) und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (B) gebildet. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013) ⁹	19
Abbildung 6 - Bestimmung der Radiuslänge (links) und der Ulnavarianz (rechts) im a.p. Strahlengang. Radiale Länge (RL)= Abstand zwischen der Senkrechten durch die Spitze des Processus styloideus radii (a) und der Senkrechten in Höhe der distalen Gelenkfläche der Ulna (b). Ulnavarianz (UV)= Abstand zwischen der Parallelen zur Fossa lunata (a) und der Parallelen zur distalen Gelenkfläche des Ulnakopfes (b) Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szermutzky et. al. (2013) ⁹	20
Abbildung 7 - Extensionsfraktur (Colles). ³¹	23
Abbildung 8 – Flexionsfraktur (Smith). ³²	24
Abbildung 9 - Barton-Fraktur. ³³	24
Abbildung 10 – Einteilungsschema nach der AO-Klassifikation. Quelle: Eigene Darstellung.....	26
Abbildung 11 - AO-Klassifikation der distalen Radiusfrakturen (Regio 2R3). ³⁷	27
Abbildung 12 - "Klassisches" Plattensystem mittels Kompressionsplatte. N=Kompressionskraft zwischen Platte und Knochen. F=Kraft durch Reibung zwischen Knochen und Platte. S=Scherkraft an der Grenzfläche von Knochen und Schraube durch Anzugsdrehmoment der Schraube. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Claes et. al. (2011) ³⁹	39

Abbildung 13 - Winkelstabiles Plattensystem. Übertragung der Kraft zwischen Schrauben und Knochen größtenteils durch Druckbelastung (D). S=Scherkräfte an der Grenzfläche von Knochen und Schraube durch äußere Belastung. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Claes et. al.(2011) ³⁹	39
Abbildung 14 - Operative Therapie der distalen Radiusfraktur: Palmare Plattenosteosynthese. ⁴⁰	41
Abbildung 15 – Patientenalter in Gruppen. Absolute Zahlen, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	49
Abbildung 16 – Geschlechterverteilung. Angaben in %, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	49
Abbildung 17 – Frakturmechanismus. Angaben in %, n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	50
Abbildung 18 – Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz posttraumatisch- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,321, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	53
Abbildung 19 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,042 , Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	53
Abbildung 20 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,087, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	54
Abbildung 21 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz posttraumatisch- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,005, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	55
Abbildung 22 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,000, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	55
Abbildung 23 - Differenz Böhler-Winkel 2 (x- Achse= Frakturmechanismus, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,000, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	56
Abbildung 24 - Verteilung der Frakturtypen nach der AO-Klassifikation (x- Achse= Frakturtyp; y-Achse= absolute Anzahl; n=208, Helios Klinikum Siegburg 2017-2019) .	58
Abbildung 25- postoperativer Böhler-Winkel 1 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-	

Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019).....	59
Abbildung 26- postoperativer Böhler-Winkel 2 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019).....	60
Abbildung 27 - postoperativer Böhler-Winkel 1 und 2 im Zielbereich bei den verschiedenen Frakturtypen (x- Achse= Frakturtyp [blau/orange/grau= Gruppen]; y-Achse= Böhler-Winkel 1 Erreichen des Zielbereichs in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019).....	60
Abbildung 28 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Reposition- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,02, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	62
Abbildung 29 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,28, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	62
Abbildung 30 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz postoperativ- Trauma, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,045, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	63
Abbildung 31 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Reposition- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,614, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019.....	64
Abbildung 32 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- Reposition, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,842, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019	64
Abbildung 33 - Differenz Böhler-Winkel 1 (x- Achse= Frakturtyp, y-Achse= Differenz Postoperativ- posttraumatisch, Angaben in Grad), Anzahl; n=208, p=0,605, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019.....	65
Abbildung 34 - Erreichen des Zielbereiches der Böhler-Winkel postoperativ (x-Achse= Böhler-Winkel, y-Achse=Winkel postoperativ im Zielbereich in %; n=208, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019).....	65

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Böhler-Winkel 1 postoperativ. p=0,054 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019.....	51
Tabelle 2 – Böhler-Winkel 2 postoperativ. p=0,002 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019.....	51
Tabelle 3 – Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ. p=0,000 nach Fishers exaktem Test, Helios-Klinikum Siegburg 2017-2019.....	51
Tabelle 4 – Korrekturen der Böhler-Winkel zu verschiedenen Zeitpunkten. Angaben in Grad, (Med:Median; IQR:Interquartilsabstand [25- und 75 %-Quartil]; Min: Minimum; Max: Maximum, p: Mann-Whitney-Test).....	56
Tabelle 5 - Böhler-Winkel 1 postoperativ, p= 0,062 nach Fishers exaktem Test, Helios Klinikum Siegburg 2017-2019.....	85
Tabelle 6 - Böhler-Winkel 2 postoperativ, p=0,879 nach Fishers exaktem Test.....	85
Tabelle 7 - Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ, p= 0,249 nach Fishers exaktem Test	85
Tabelle 8 - Deskriptive Statistik des Frakturmechanismus, Böhler-Winkel 1, N= Gesamtanzahl	86
Tabelle 9 - Deskriptive Statistik des Frakturmechanismus, Böhler-Winkel 2, N= Gesamtanzahl	87
Tabelle 10 - Deskriptive Statistik des Frakturtyp, Böhler-Winkel 1, N= Gesamtanzahl	87
Tabelle 11 - Deskriptive Statistik des Frakturtyp, Böhler-Winkel 2, N= Gesamtanzahl	89

7.3 Ergänzende Tabellen

3.2.2.1 Vergleich der Zielwerte innerhalb der Frakturtypen

Tabelle 5 - Böhler-Winkel 1 postoperativ, $p=0,062$ nach Fishers exaktem Test, Helios Klinikum Siegburg 2017-2019

Frakturtyp	Nicht im Zielbereich	Im Zielbereich	Gesamt
A2	5 (55,6%)	4 (44,4%)	9 (100%)
A3	11 (17,2%)	53 (82,8%)	64 (100%)
B2	0 (0%)	3 (100%)	3 (100%)
B3	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
C1	1 (5,6%)	17 (94,4%)	18 (100%)
C2	15 (24,2%)	47 (75,8%)	62 (100%)
C3	7 (13,7%)	44 (86,3%)	51 (100%)
Gesamt	39 (18,8%)	169 (81,2%)	208 (100%)

Tabelle 6 - Böhler-Winkel 2 postoperativ, $p=0,879$ nach Fishers exaktem Test

Frakturtyp	Nicht im Zielbereich	Im Zielbereich	Gesamt
A2	4 (44,4%)	5 (55,6%)	9 (100%)
A3	16 (25,0%)	48 (75,0%)	64 (100%)
B2	1 (33,3%)	2 (66,7%)	3 (100%)
B3	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
C1	5 (27,8%)	13 (72,2%)	18 (100%)
C2	20 (32,3%)	42 (67,7%)	62 (100%)
C3	16 (31,4%)	35 (68,6%)	51 (100%)
Gesamt	62 (29,8%)	146 (70,2%)	208 (100%)

Tabelle 7 - Böhler-Winkel 1 und 2 postoperativ, $p=0,249$ nach Fishers exaktem Test

Frakturtyp	Mindestens 1 Winkel nicht im Zielbereich	Im Zielbereich	Gesamt
A2	7 (77,8%)	2 (22,2%)	9 (100%)

A3	22 (34,4%)	42 (65,6%)	64 (100%)
B2	1 (33,3%)	2 (66,7%)	3 (100%)
B3	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
C1	6 (33,3%)	12 (66,7%)	18 (100%)
C2	27 (43,5%)	35 (56,5%)	62 (100%)
C3	22 (43,1%)	29 (56,9%)	51 (100%)
Gesamt	85 (40,9%)	123 (59,9%)	208 (100%)

Deskriptive Statistik: Differenzen und Vergleich innerhalb Frakturmechanismus

Tabelle 8 - Deskriptive Statistik des Frakturmechanismus, Böhler-Winkel 1, N= Gesamtanzahl

Frakturmechanismus			Böhler 1 (Trauma- Reposition)	Böhler 1 (postoperativ - Reposition)	Böhler 1 (Trauma – Postoperativ)
1 Flexion	N	Anzahl	24	24	24
	Mittelwert		3,9958	3,7042	6,9000
	Standardabweichung		2,70241	2,63463	4,57222
	Minimum		0,20	0,40	0,30
	Maximum		10,50	12,70	19,70
	Perzentile	25	1,9750	2,5000	3,5250
		50	3,0500	2,9000	5,4500
		75	7,0000	4,4750	9,3750
2 Extension	N	Anzahl	184	184	184
	Mittelwert		3,8120	2,9234	5,5288
	Standardabweichung		3,62073	2,82258	4,60591
	Minimum		0,10	0,00	0,00
	Maximum		23,80	20,10	21,30
	Perzentile	25	1,4000	0,9000	2,1000
		50	2,8000	2,3000	4,7500
		75	5,4500	4,0000	7,2500

Tabelle 9 - Deskriptive Statistik des Frakturmechanismus, Böhler-Winkel 2, N= Gesamtanzahl

Frakturmechanismus			Böhler 2 (Trauma- Reposition)	Böhler 2 (postoperativ- Reposition)	Böhler 2 (Trauma – Postoperativ)
1 Flexion	N	Anzahl	24	24	24
	Mittelwert		8,4417	6,9625	10,0125
	Standardabweichung		7,79001	7,29215	7,13066
	Minimum		0,40	0,20	1,30
	Maximum		27,60	26,00	22,30
	Perzentile	25	1,9000	3,1250	3,3000
		50	5,4000	3,7500	8,0500
		75	13,1000	10,7000	15,6500
2 Extension	N	Anzahl	184	184	184
	Mittelwert		13,9935	15,0304	28,3370
	Standardabweichung		10,00265	9,35800	13,07652
	Minimum		0,10	0,20	0,30
	Maximum		45,10	55,20	73,70
	Perzentile	25	6,1000	7,0250	18,9000
		50	11,9000	14,6500	28,3500
		75	19,5750	21,5750	37,2000

Deskriptive Statistik: Differenzen und Vergleich innerhalb Frakturtyp

Tabelle 10 - Deskriptive Statistik des Frakturtyp, Böhler-Winkel 1, N= Gesamtanzahl

Frakturtyp			Böhler1 (Trauma - Reposition)	Böhler1 (postoperativ - Reposition)	Böhler1 (Trauma- postoperativ)
2 A2	N	Anzahl	9	9	9
	Mittelwert		2,0667	2,8222	3,9333
	Standardabweichung		2,59374	2,10106	3,18041
	Minimum		0,10	0,30	0,30
	Maximum		8,20	7,20	10,50
	Perzentile	25	0,3000	1,2000	1,3000
		50	1,0000	2,4000	3,9000
		75	3,2000	3,9500	5,7000
3 A3	N	Anzahl	64	64	64
	Mittelwert		3,4938	3,5328	5,4578

	Standardabweichung		3,38244	3,07024	4,62806
	Minimum		0,10	0,00	0,10
	Maximum		23,80	16,70	21,30
	Perzentile	25	1,5000	1,4000	2,1000
		50	2,5500	2,6000	4,4000
		75	4,4500	5,2000	8,3500
5 B2	N	Anzahl	3	3	3
	Mittelwert		4,0000	2,1667	4,7000
	Standardabweichung		1,15326	0,25166	2,55147
	Minimum		2,70	1,90	2,20
	Maximum		4,90	2,40	7,30
	Perzentile	25	2,7000	1,9000	2,2000
		50	4,4000	2,2000	4,6000
		75			
6 B3	N	Anzahl	1	1	1
	Mittelwert		3,2000	4,1000	7,3000
	Minimum		3,20	4,10	7,30
	Maximum		3,20	4,10	7,30
	Perzentile	25	3,2000	4,1000	7,3000
		50	3,2000	4,1000	7,3000
		75	3,2000	4,1000	7,3000
7 C1	N	Anzahl	18	18	18
	Mittelwert		4,7167	3,4778	6,9722
	Standardabweichung		5,18496	2,10952	7,14224
	Minimum		0,40	0,30	0,60
	Maximum		15,70	7,20	20,80
	Perzentile	25	1,4500	1,8750	1,7500
		50	2,3500	3,0500	3,8000
		75	8,9250	5,0250	11,0250
8 C2	N	Anzahl	62	62	62
	Mittelwert		3,4532	2,4919	4,7161
	Standardabweichung		3,57261	1,83010	3,67794
	Minimum		0,10	0,00	0,00
	Maximum		17,10	8,00	16,30
	Perzentile	25	0,8000	0,9000	1,7500
		50	2,2500	2,2500	4,1500
		75	4,9500	3,7000	6,3250
9 C3	N	Anzahl	51	51	51
	Mittelwert		4,7235	2,8941	7,0373
	Standardabweichung		3,01838	3,68480	4,58161
	Minimum		0,10	0,10	0,10
	Maximum		11,70	20,10	20,00
	Perzentile	25	2,3000	0,4000	4,8000

		50	4,7000	2,0000	5,7000
		75	6,9000	3,5000	8,8000

Tabelle 11 - Deskriptive Statistik des Frakturtyp, Böhler-Winkel 2, N=
Gesamtanzahl

Frakturtyp			Böhler2 (Trauma - Reposition)	Böhler2 (Postoperativ - Reposition)	Böhler2 (Trauma - postoperativ)
A2	N	Anzahl	9	9	9
	Mittelwert		15,6667	12,2778	25,2111
	Standardabweichung		9,51591	8,67436	16,53590
	Minimum		4,20	0,50	3,00
	Maximum		34,80	28,40	63,20
	Perzentile	25	7,6000	5,9500	15,8500
		50	15,3000	12,3000	26,1000
		75	21,0500	18,1500	28,8500
A3	N	Anzahl	64	64	64
	Mittelwert		13,1891	14,7641	27,7125
	Standardabweichung		10,05597	8,83775	12,96577
	Minimum		0,10	0,20	1,70
	Maximum		41,40	32,40	68,20
	Perzentile	25	6,0250	6,1500	18,2000
		50	10,6500	17,5000	29,6000
		75	18,9750	21,9000	37,5250
B2	N	Anzahl	3	3	3
	Mittelwert		5,8000	12,7333	18,5333
	Standardabweichung		2,35160	3,82797	2,97377
	Minimum		4,20	9,60	15,80
	Maximum		8,50	17,00	21,70
	Perzentile	25	4,2000	9,6000	15,8000
		50	4,7000	11,6000	18,1000
		75			
B3	N	Anzahl	1	1	1
	Mittelwert		11,3000	3,9000	15,2000
	Minimum		11,30	3,90	15,20
	Maximum		11,30	3,90	15,20
	Perzentile	25	11,3000	3,9000	15,2000
		50	11,3000	3,9000	15,2000
		75	11,3000	3,9000	15,2000
C1	N	Anzahl	18	18	18

	Mittelwert		12,8667	15,8000	25,9333
	Standardabweichung		10,33447	10,13706	17,45825
	Minimum		1,00	1,20	0,50
	Maximum		42,70	32,10	55,20
	Perzentile	25	5,5500	7,1750	7,4500
		50	12,1000	14,8500	24,9000
		75	16,3500	23,9500	42,4750
C2	N	Anzahl	62	62	62
	Mittelwert		13,9758	13,6935	26,3887
	Standardabweichung		9,84108	9,61457	13,11022
	Minimum		0,20	0,30	0,30
	Maximum		34,80	39,30	53,20
	Perzentile	25	5,7000	5,6250	17,5000
		50	11,6000	12,5500	27,9500
		75	21,0500	19,5500	35,1500
C3	N	Anzahl	51	51	51
	Mittelwert		13,0490	13,7608	25,1000
	Standardabweichung		10,26848	10,44711	14,56765
	Minimum		0,40	0,20	1,30
	Maximum		45,10	55,20	73,70
	Perzentile	25	3,1000	5,4000	16,9000
		50	13,2000	13,8000	22,4000
		75	19,5000	21,2000	33,9000